

FÁBIO MARCELO MAGALHÃES

**O APROVEITAMENTO DE AREIA NA REGIÃO DO
ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU/PR:
ASPECTOS GEOLÓGICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Departamento
de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Geologia
Exploratória.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Gondim
de Andrade e Silva

CURITIBA

2002

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ÁREA: GEOLOGIA EXPLORATÓRIA

**O APROVEITAMENTO DE AREIA NA REGIÃO DO
ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU/PR:
ASPECTOS GEOLÓGICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

FÁBIO MARCELO MAGALHÃES

Dissertação apresentada ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Exploratória.

Orientador: Professor Dr. Antonio Carlos Gondim de Andrade e Silva

CURITIBA/PR
2002

Magalhães, Fábio Marcelo

O aproveitamento de areia na região do alto curso do Rio Iguaçu/PR: aspectos geológicos, econômicos e ambientais. – Curitiba, 2002.

xiii, 142p. : il, grafs., tabs.

Orientador: Antonio Carlos Gondim de Andrade e Silva

Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná.

Inclui Bibliografia

1. Geologia ambiental. 2. Geologia exploratória. 3. Economia mineral. 4. Areia. I. Silva, Antonio Carlos Gondim de Andrade e II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD 553.622

TERMO DE APROVAÇÃO

Fábio Marcelo Magalhães

**“O APROVEITAMENTO DE AREIA NA REGIÃO DO ALTO
CURSO DO RIO IGUAÇU/PR: ASPECTOS GEOLÓGICOS,
ECONÔMICOS E AMBIENTAIS”**

**Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-
Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia
Exploratória, da Universidade Federal do Paraná, Comissão
formada pelos Professores:**



Professor Doutor Luiz Eduardo Mantovani -UFPR



Professor Doutor Rodolfo José Angulo -UFPR



**Professor Doutor Antonio Carlos Gondim de Andrade e Silva -UFPR
Presidente**

Curitiba, 05 de Setembro de 2002.

DEDICATÓRIA

Deus, luz que ilumina meu caminho,

Ana Paula: esposa e grande amor da minha vida.

Eloiza, Carolina, Marco e Tamires,

Colegas de trabalho do Colégio Estadual Macedo Soares,

Ao professor Dr. Antonio Carlos Gondim de Andrade e Silva pela sabedoria, dedicação e amizade em ter confiado seus valiosos préstimos para a realização deste trabalho.

Meu pai, com carinho e saudade, um exemplo de vida que espelha minha carreira.

Dedico.

Eu supliquei e a inteligência me foi dada.

Invoquei, e o espírito da sabedoria veio até mim.

Eu a preferi aos cetros e tronos, e, em comparação com ela,
considereei a riqueza como um nada.

Não a comparei com a pedra mais preciosa,
porque todo o ouro, ao lado dela, é como um punhado de areia.

(Sb 7,7 – 9)

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho tornou-se possível graças a constantes e importantes colaborações, críticas, sugestões e serviços prestados ao longo das diversas etapas de seu desenvolvimento.

Ao professor Dr. Antonio Carlos Gondim de Andrade e Silva, a quem devo um agradecimento especial por depositar valor e confiança a minha pessoa e estar sempre disposto a dividir seus conhecimentos e préstimos, permitindo discussões produtivas e relevantes.

Ao prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani, pelas críticas e sugestões profícuas em momentos decisivos do trabalho.

Aos profissionais do Laboratório de Sedimentologia da USP e da UFPR pela valiosa prestação de serviços.

Aos colegas do Curso de Pós Graduação da Universidade Federal do Paraná pela amizade e apoio constantes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio bolsa de mestrado para a elaboração deste trabalho.

Ao Departamento do Curso de Geologia da UFPR por ter proporcionado um ambiente repleto de excelentes condições de pesquisa.

A todas as pessoas que de uma forma ou de outra colaboraram para a concretização deste trabalho, o autor consigna o seu profundo reconhecimento e agradecimento.

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	01
1.1. PRECEDENTES HISTÓRICOS	03
1.2. MINERAÇÃO DE AREIA E SUA IMPORTÂNCIA	05
1.3. IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DA MINERAÇÃO DE AREIA	06
1.4. ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E ACESSO	09
 2. AREIA	 12
2.1. CLASSIFICAÇÃO	14
2.2. USOS	15
2.3. MODALIDADES DE LAVRA DE AREIA	17
2.3.1. Lavra em solo de alteração	17
2.3.2. Lavra em leitos de rios	17
2.3.3. Lavra em cava seca	18
2.3.4. Lavra em cava submersa	18
 3. METODOS DE TRABALHO.....	 19
 4. GEOAMBIENTE REGIONAL	 22
4.1. CONTEXTO GEOLÓGICO	22
4.1.1. Geologia Regional e local	22
4.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	41
4.2.1. Considerações sobre a evolução geológica/geomorfológica regional e local	41
4.3. CONTEXTO PEDOLÓGICO	55
4.4. CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL	58
4.5. SEDIMENTAÇÃO EM AMBIENTE FLUVIAL	62
4.5.1. Considerações sobre o sistema hidrográfico do rio Iguaçu/PR	63
4.5.2. Rio Iguaçu: dinâmica hídrica e depósitos correlatos	65
 5. O APROVEITAMENTO DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ	 72
5.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	73
5.2. RESERVAS DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ	74
5.3. PRODUÇÃO DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ	77
5.4. ASPECTOS INSTITUCIONAIS DA MINERAÇÃO DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ	82
 6. A MINERAÇÃO DE AREIA NO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU	 86
6.1. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA MINERAÇÃO DE AREIA NA REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU.....	88

6.1.1. Pesquisa mineral	88
6.1.2. Lavra	89
6.1.3. Decapeamento	91
6.1.4. Desmonte mecânico	92
6.1.5. Transporte interno	93
6.1.6. Beneficiamento	93
6.1.7. Disposição de rejeitos	98
6.1.8. Estocagem da areia	100
6.1.9. Operações auxiliares	100
6.2. CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU	101
6.3. PRODUÇÃO	115
6.4. CUSTOS E INVESTIMENTOS.....	116
6.5. TRANSPORTE E OUTROS FATORES ECONÔMICOS.....	118
 7. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA MINERAÇÃO DE AREIA NO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU	123
7.1. CONFLITOS ENTRE A ATIVIDADE EXTRATIVA DE AREIA E OUTRAS FORMAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	128
 8. CONCLUSÕES.....	133
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
 ANEXOS	

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas.

ALL – América Latina Logística.

ATBIAV - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidros.

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia.

CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais.

CIC – Cidade Industrial de Curitiba.

COFINS – Contribuição Financeira da Seguridade Social.

COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral.

EIA – Estudo de Impacto Ambiental.

FERROPAR – Ferrovia Central do Paraná.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná.

IAPSM - Informativo Anual Sobre a Produção de Substâncias Minerais.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração.

ICMS – Imposto sobre operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre prestação de serviços de transporte interestadual e intermunicipal e de comunicação.

ICSU – Conselho Internacional de Uniões Científicas.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.

IUM – Imposto Único sobre os Minerais.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A.

MME – Ministério das Minas e Energia.

ONU – Organização das Nações Unidas.

PIB – Produto Interno Bruto.

PIS – Programa de Integração Social.

RMC – Região Metropolitana de Curitiba.

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná.

SEMA/PR – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná.

SUDERSHA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

USP – Universidade de São Paulo.

UFPR – Universidade Federal do Paraná.

FIGURAS

Figura 01 – Área de estudo: localização e acesso	11
Figura 02 – Sedimentação Cenozóica no Estado do Paraná.....	23
Figura 03 – Mapa geológico da Região Metropolitana de Curitiba	25
Figura 04 – Mapa geológico da área de estudo	27
Figura 05 – Compartimentação geomorfológica da Região Metropolitana de Curitiba	43
Figura 06 – Hipsometria da área de estudo	46
Figura 07 – Compartimentação geomorfológica da área de estudo	47
Figura 08 - Superfícies de Erosão do Primeiro e Segundo Planalto Paranaense.....	52
Figura 09 – Compartimentação pedológica da Região Metropolitana de Curitiba	55
Figura 10 – Distribuição da cobertura vegetal na Região Metropolitana de Curitiba	59
Figura 11 – Rede de drenagem da Região Metropolitana de Curitiba.....	64
Figura 12 – Distribuição dos depósitos de areia no contexto fluvial do rio Iguaçu.....	67
Figura 13 – Padrões de drenagem e esboço da distribuição geográfica dos depósitos correlativos na região do alto curso do rio Iguaçu/PR.....	68
Figura 14 - Processos de formação de areia	74
Figura 15 - Reservas de areia no Estado do Paraná	80
Figura 16 - Produção média anual de areia por categoria de empresa.....	81
Figura 17 – Produção de areia por município no Estado do Paraná	82
Figura 18 – Cavas de areia no alto curso do rio Iguaçu	87
Figura 19 - Capeamento de argila sobre camada de areia em uma cava inundada.....	90
Figura 20 - Principais operações da mineração de areia pelo método da cava seca.....	91
Figura 21 – Aspectos do desmonte mecânico e carregamento dos caminhões basculante.....	92
Figura 22 – Reservatório para classificação de areia e eliminação de finos	94

Figura 23 – Detalhe da peneira de separação de areia	96
Figura 24 – Motobomba: embarcação com draga em uma cava de areia inundada	98
Figura 25 – Camada de argila: pilha de rejeito da frente de lavra	99
Figura 26 – Localização dos pontos de coleta de amostra de areia na região do alto curso do rio Iguaçu, municípios de Balsa Nova e Lapa/PR	102
Figura 27 - Coluna estratigráfica representativa dos depósitos de areia na região do alto curso do rio Iguaçu	103
Figura 28 -Estratigrafia de cava de areia em frente de lavra- areeiro Durau, município de Balsa Nova/PR	103
Figura 29 - Classes granulométricas em % - Amostra tipo 01	107
Figura 30 – Classes granulométricas em %: Amostra tipo 02	108
Figura 31 – Classes granulométricas em %: Amostra tipo 03	109
Figura 32 – Classes granulométricas em %: Amostra tipo 04	109
Figura 33 – Classes granulométricas em %: Amostra tipo 05	110
Figura 34 – Classes granulométricas em %: Amostra tipo 06	111
Figura 35 - Curvas granulométricas comparativas das amostras de areia do alto curso do rio Iguaçu.....	112

TABELAS

Tabela 01 - Escala granulométrica de Wentworth	14
Tabela 02 - Classificação da areia em função do tamanho dos grãos	14
Tabela 03 – Litoestratigrafia da área de estudo	28
Tabela 04 – Unidades geológicas, escalas e características das áreas.....	40
Tabela 05 – Unidades geomorfológicas, escalas e características das áreas	54
Tabela 06 – Unidades pedológicas, escalas e características das áreas.....	58
Tabela 07 – Unidades fitoecológicas, escalas e características das áreas.....	62
Tabela 08 – Reservas das substâncias minerais não-metálicas no Estado do Paraná	72
Tabela 09 – Minerais industriais e ambientes geológicos.....	73
Tabela 10 - Reservas de areia e cascalho na Região Metropolitana de Curitiba.....	75
Tabela 11 – Produção de minerais não – metálicos no Estado do Paraná	79
Tabela 12 - Índice de crescimento da produção da indústria mineral no Estado do Paraná	79
Tabela 13 - Situação legal das empresas de mineração de areia no Estado do Paraná	83
Tabela 14 – Direitos minerários nos municípios de Lapa e Balsa Nova/PR.....	84
Tabela 15 – Quadro-resumo descritivo das características de amostras de areia de depósitos típicos da área de estudo	101
Tabela 16 - Intervalos entre as classes granulométricas	107
Tabela 17 - Principais características e recomendações quanto ao uso e aplicação das areias da região do alto curso do rio Iguaçu/PR	113
Tabela 18 – Substâncias prejudiciais contidas nos agregados para construção civil	114

RESUMO

O APROVEITAMENTO DE AREIA NA REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU/PR: ASPECTOS GEOLÓGICOS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

O propósito da pesquisa que resultou na elaboração desta dissertação de mestrado enfocou a caracterização dos principais depósitos de areia da região do alto curso do rio Iguaçu, a identificação das diferentes litologias que atuaram como área fonte dos sedimentos que constituem os depósitos e o levantamento dos empreendimentos de mineração. Neste estudo, foram analisados os equipamentos, a infra-estrutura e os métodos utilizados para a lavra e beneficiamento de areia, incluindo um levantamento da produção deste bem mineral e sua importância econômica para o Estado do Paraná.

A área estudada encontra-se no Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba, localizado entre a Escarpa Devoniana e a Serra do Mar, composto por rochas do embasamento Pré-Cambriano, entre elas os gnaisses, quartzitos, xistos, filitos, mármore calcíticos e dolomíticos. Estas rochas são cortadas por diques de diabásio e intrudidas por corpos ígneos alcalinos do Cretáceo, sendo que, na região de Curitiba, estão cobertas pela Bacia Sedimentar de Curitiba, de Idade Terciário – Quaternária. O domínio de rochas areníticas da Formação Itararé assenta-se sobre o embasamento cristalino e os depósitos recentes encontram-se na planície aluvial dos maiores canais de drenagem, principalmente o rio Iguaçu.

A atividade de exploração de sedimentos para emprego direto na construção civil da Região Metropolitana de Curitiba desenvolve-se no terraço fluvial do rio Iguaçu, municípios de Lapa e Balsa Nova, sendo realizada em cava seca, onde os depósitos recentes são explorados e os materiais são transportados para seleção em peneiras. A metodologia utilizada para o presente estudo consiste em cinco etapas principais: levantamento bibliográfico, trabalhos de campo, atividades de laboratório, tratamento e interpretação dos dados obtidos e redação da dissertação de mestrado.

O estudo do aproveitamento do insumo mineral areia reveste-se de grande relevância para a Região Metropolitana de Curitiba, considerando-se principalmente a dinamização do setor da construção civil. A pesquisa possibilitou estabelecer as relações entre mineração e o meio ambiente na região do alto curso do rio Iguaçu. Estas informações servirão como subsídios para o planejamento das atividades de lavra e pesquisa mineral com parâmetros atualizados, nesta importante área de produção de areia.

ABSTRACT

THE UTILIZATION OF SAND IN THE HIGH COURSE OF IGUAÇU RIVER: GEOLOGICAL, ECONOMIC AND ENVIROMENTAL ASPECTS.

The purpose of this research is to characterize the main sand deposits situated in the higher portion of the Iguaçu River, in Paraná State, Brazil. It was possible to identify the different lithologies which were the source of the sediments exploited in the region. The study laid emphasis on the characteristics of infrastructure, the equipment and methods utilized for mining, the processing and production of sand and their economic aspects in Paraná State.

The studied area is situated in the First Plateau or Curitiba Plateau, which is localized between the Devonian Scarp and the Serra do Mar Mountains, is constituted by rocks of the precambrian basement: gneisses, quartzites, schists, phyllites, calcitic and dolomitic marbles. These rocks are cut by doleryte dykes, alkaline igneous bodies of the Cretaceous. The Curitiba basin is filled by diversified tertiary and quaternary sediments. The main sand deposits are found in alluvial plains and terraces of the Iguaçu river.

The sand deposits exploitation activities for direct use in civil construction in the Curitiba Metropolitan Region are situated, mainly, in the municipalities of Lapa and Balsa Nova in Paraná State.

The methods used in this study have five stages: bibliographic survey, field trips, laboratory determinations, data treatment and interpretation and elaboration of this master in science thesis.

This research established the relations between mining and environmental aspects of the region. This information contributes to the planning of the mining activities for this important commodity in Paraná State. The study of sand exploitation presents a great importance for Curitiba Metropolitan Region, regarding mainly the dynamism of the civil construction sector.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O substrato geológico modula a dinâmica do geoambiente, sendo o arcabouço estrutural do relevo, da hidrologia e dos solos atuais. Tais variáveis definem, juntamente com o clima, as coberturas vegetais primárias bem como as suas possíveis substitutas, contribuindo sobremaneira para a configuração do meio ambiente.

Os recursos naturais, especialmente aqueles de origem mineral, constituem importante base material para o desenvolvimento da sociedade. O padrão de utilização destes recursos tem suscitado amplos debates na sociedade e uma preocupação por parte dos geocientistas visando formas adequadas de exploração e aproveitamento (ABREU, 1973).

A questão ambiental que envolve o aproveitamento de recursos minerais passou a ter grande importância para a sociedade a partir da década de 60, quando grupos de ecologistas atentaram para as causas inerentes à poluição e a degradação ambiental (TAUK, 1995).

Problemas relacionados a limitações de recursos naturais em razão da expansão populacional e com a própria insegurança alimentar já foram alvo de estudos realizados por Malthus em 1778 e que somente começaram a ser equacionados após o Relatório do Clube de Roma em 1971 e a realização da Conferência de Estocolmo em 1972 conforme destacado pelo ICSU (1992). Tais eventos possibilitaram a realização de vários estudos, com destaque para o Terceiro Relatório do Clube de Roma, conhecido como “Relatório Brandt” para as Nações Unidas em 1980 e que discutia, sobretudo, questões relacionadas à nova ordem mundial e suas repercussões no âmbito do aproveitamento dos recursos naturais como afirma CORDANI (2000).

Nos anos 80, diante do agravamento da situação ambiental global, as Nações Unidas encarregaram uma Comissão Internacional que realizou amplos estudos sobre meio ambiente e desenvolvimento. Tais estudos geraram muitas discussões entre a comunidade científica acerca da questão ambiental, possibilitando a realização da Conferência do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, organizada pela ONU, e importantes tomadas de decisões políticas por parte de diversos países visando assegurar o futuro da humanidade dentro de padrões de desenvolvimento sustentado (CORDANI, op. cit.).

Os produtos minerais usados na construção civil, dentre eles as areias, estão apresentando um contínuo aumento da demanda devido ao inexorável crescimento populacional. De acordo com CAVALCANTI (1991), a partir da década de 70, verificou-se um considerável aumento na demanda de minerais de emprego direto na construção civil do Estado de São Paulo, mormente

de areia, um agregado mineral de uso industrial e um dos bens minerais mais consumidos no Brasil e no mundo.

A literatura existente sobre o tema ainda é relativamente escassa, são raros os estudos mais detalhados a respeito dos depósitos sedimentares recentes na região do alto curso do rio Iguaçu. Na Região Metropolitana de Curitiba há apenas alguns registros de estudos qualitativos e/ou quantitativos de caráter pontual sobre depósitos sedimentares recentes que aparecem na calha do rio Iguaçu.

AB'SABER (1969) já reclamava da escassez de estudos, afirmando que o Cenozóico na Bacia do Paraná e também em outros ambientes geológicos têm sido muito pouco estudado sob o ponto de vista sedimentológico, geocronológico e no campo da geologia econômica principalmente no que se refere ao aproveitamento dos depósitos de sedimentos inconsolidados na calha fluvial como agregado para construção civil.

O Estado do Paraná possui um rico potencial de depósitos areníferos voltados para o atendimento do setor de construção civil. Podem ser destacadas três importantes regiões pela presença de reservas de areia:

1. A região oeste do Estado, principalmente nos cursos dos rios Paranapanema e Paraná, os quais exibem importantes depósitos de areias aluvionares.
2. A planície litorânea, que apresenta grande quantidade de depósitos de areia de diversos tipos.
3. A região do alto curso do rio Iguaçu, situada no Primeiro Planalto da compartimentação geomorfológica do Estado do Paraná de MAACK (1981), onde ocorrem extensos depósitos de areia que atendem a demanda do setor de construção civil na Região Metropolitana de Curitiba.

Os depósitos de areia objeto deste estudo e cujos resultados são apresentados nesta dissertação pertencem à região descrita no item 3. Neste trabalho são apresentadas as características dos depósitos areníferos da região do alto curso do rio Iguaçu e os principais aspectos econômicos e ambientais relacionados ao aproveitamento das reservas de areia. O termo areeiro foi utilizado no decorrer do trabalho para se referir aos empreendimentos ou empresas de mineração que realizam a exploração de areia.

A mineração constitui-se em atividade que pode ser desenvolvida de forma compatível com outras formas de uso do solo, mesmo em ambiente urbano, desde que tal atividade seja acompanhada de estudos específicos e decisões políticas coerentes adequadas à realidade local e regional (TAUK, 1995).

Ao longo desta pesquisa desenvolveu-se um breve perfil da mineração de areia na região do alto curso do rio Iguaçu, no Estado do Paraná, destacando especialmente os seus aspectos econômicos e ambientais.

Na primeira etapa do trabalho, desenvolveu-se uma caracterização do geoambiente regional e local que serviu como base para a implantação dos areeiros na região. O estudo detalhou aspectos do planejamento mineiro de areia para uso na construção civil; seleção e dimensionamento de equipamentos; levantamento de investimentos e custos; e análise econômica.

Na segunda etapa, com base nas conclusões e recomendações da primeira, foram detalhados aspectos do aproveitamento de substâncias associadas à areia, tanto na lavra do depósito, como na recuperação dos rejeitos do beneficiamento. Analisaram-se, em detalhe, aspectos operacionais relativos aos tipos de equipamentos utilizados no processo de beneficiamento, enfatizando o controle das principais operações lavra, como o desmonte mecânico e o transporte da areia até o pátio de depósito.

A análise das características geológicas, econômicas e ambientais apresentadas nesta dissertação, podem representar um importante subsídio para orientação dos trabalhos de lavra e beneficiamento das areias do alto Iguaçu, assim como da mitigação dos impactos ambientais, contribuindo, portanto, para o desenvolvimento econômico e social da região.

1.1. PRECEDENTES HISTÓRICOS

Os bens minerais têm sido importantes para o homem desde o período Pré- Histórico. Os seres humanos, no princípio de sua existência, já utilizavam diversos tipos de bens minerais, como o sal em sua dieta alimentar, quartzo e vidro vulcânico que eram cortados e lixados para produção de pontas de projéteis e confecção de utensílios domésticos. A partir da Idade Antiga, a argila foi utilizada para cerâmica, a pedra sabão entalhada para elaboração de utensílios, jade, talco, mármore e micas principalmente para ornamento. Desta forma, rochas e minerais não metálicos foram utilizados pelo homem ao longo de seu desenvolvimento antes mesmo dos metais e minerais combustíveis (PARK JR, 1980). Assim, têm-se a Idade da Pedra (do aparecimento do homem até cerca de 10.000 A.C), a Idade do Bronze (10.000 a 1.500 A.C) e a Idade do Ferro (a partir de 1.500 A.C.) caracterizadas pelo uso destes produtos minerais (CIGOLINI et al., 1998).

As necessidades sociais foram cada vez maiores, desde quando ocorreu a passagem do homem de uma situação de nomadismo para o sedentarismo, por volta de 6.000 A.C. O desenvolvimento das cidades possibilitou a fixação em núcleos familiares onde era cada vez mais crescente a necessidade por moradias de maior conforto e locais de fácil obtenção de alimento, gerando uma maior demanda por recursos minerais. Na época da primeira revolução industrial (meados do século XVIII até por volta de 1870), o ferro e o carvão foram a base para o desenvolvimento da sociedade. Na segunda revolução industrial, durante a vigência do sistema de produção em série do Fordismo, eram ainda utilizados, em grande escala, o ferro e o carvão, sendo destacada a introdução do petróleo dentre os recursos energéticos utilizados. Atualmente, com a terceira revolução industrial, representada pela indústria da informação, o caráter estratégico da economia se desloca para a tecnologia. Não obstante, os recursos minerais para uso na construção civil preservam uma grande importância para atender a demanda sempre crescente por moradias na evolução dos centros urbanos (PARK JR, 1980).

Dentre os bens minerais industriais, a areia tem sido um dos insumos mais utilizados no setor de construção civil, sendo considerado o alicerce responsável pelo desenvolvimento de muitos parques industriais brasileiros, inclusive possibilitando a construção de rodovias e a verticalização de grandes metrópoles como São Paulo, por exemplo (REIS FILHO, 1968).

MACHADO (1989) destaca que a trajetória histórica brasileira no setor de mineração sempre foi marcada por políticas públicas inconstantes e incoerentes, podendo ser dividida em dois momentos: Período Colonial e Era Pós Industrial (a partir de 1930).

No Período Colonial não se observou uma política pública que englobasse todos os tipos de exploração mineral, sendo que, a maioria das disposições legais eram voltadas para o aproveitamento de metais e de pedras preciosas destinadas ao abastecimento do mercado de consumo europeu. A areia era considerada um produto comum, um mero acessório do solo, tal qual a maioria dos minerais industriais e a sua exploração poderia ser realizada sem maiores restrições legais. Além disso, nesta época, a economia brasileira girava em torno da agricultura, o que refletia grande desinteresse do governo e dos agentes econômicos em aplicar recursos no setor da mineração, haja vista o alto custo dos equipamentos necessários à lavra de minerais, sem mencionar a ausência de uma rede de transporte eficiente bem como o desconhecimento das técnicas de mineração por parte do proprietário rural. Somente a partir de 1930, com o advento da industrialização brasileira, ocorre o aumento do consumo de bens minerais industriais,

forçando o governo a implementar políticas condizentes com a nova realidade brasileira (HERMANN, 1992).

A exploração de areia na Região Metropolitana de Curitiba/PR iniciou-se na década de 40 e desde aquela época até a atualidade, em decorrência do aumento na demanda do recurso, observa-se a migração das tradicionais áreas de exploração em direção à periferia da grande metrópole, que hoje alcança os municípios ricos em depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu, principalmente Lapa e Balsa Nova (MINEROPAR, 1994).

A partir da década de 70, cresce cada vez mais a preocupação com o meio ambiente, principalmente com relação às atividades de mineração de areia desenvolvidas no âmbito das regiões metropolitanas (FABIANOVICZ, 1998).

1.2. MINERAÇÃO DE AREIA E SUA IMPORTÂNCIA

Atualmente existem mais de 1800 minerais conhecidos, no entanto somente cem são economicamente importantes como já assinalava PARK JR. (1980).

O termo recurso não renovável está relacionado às características da escala de tempo geológico e são particularmente inerentes ao volume da produção e ao tipo de uso. A exaustão de recursos naturais não renováveis depende não somente da regulação da demanda mas também das condições geológicas do bem mineral. Deste modo, a pesquisa e a exploração mineral podem aumentar o número de jazidas disponíveis mas nem por isso eliminar o caráter finito desses recursos (MACHADO, 1989).

Os recursos minerais são classificados em três grandes grupos: metais, não metálicos e os minerais energéticos ou combustíveis. O grupo de recursos minerais não metálicos, comumente referidos como rochas e minerais industriais são de grande importância para o desenvolvimento urbano das civilizações. Este grupo inclui a areia, objeto do estudo apresentado nesta dissertação.

Os sessenta principais tipos de minerais industriais excedem em volume de agregados os metais em termos de quantidade explorada. Esses minerais são relativamente abundantes e absolutamente essenciais para o setor industrial de um país. Dentro deste aspecto, cita-se o caso dos EUA, onde em média cada cidadão consumia cerca de 800 kg de metais e quatro toneladas de minerais industriais a cada ano (PARK JR. op. cit.).

Atualmente, o consumo médio anual de recursos minerais per capita para este país situa-se entre 15 a 20 toneladas, porém, guardando a mesma proporção entre minerais metálicos e industriais, proporções similares são apresentadas pelos demais países industrializados. Nos

países em desenvolvimento, como no caso do Brasil, de acordo com estimativas, o consumo de bens minerais é menor, ficando entre 08 a 09 toneladas anuais per capita. No mundo, atualmente, o movimento global de produtos minerais é da ordem de 45 a 50 bilhões de toneladas (CORDANI, 2000).

A produção mineral brasileira por km² ainda é baixa, quando comparada com outros países de expressiva extensão territorial e que também apresentam grandes vazios demográficos, o que dificulta um melhor aproveitamento do potencial geológico. Para os países ricos, o meio ambiente é o que conta, já que os minerais podem ser adquiridos de outras regiões. A exceção a esta regra são os minerais para uso imediato na construção civil, dentre eles a areia, cujo baixo valor unitário não comporta transporte a longas distâncias (MACHADO, 1989).

A utilização dos bens minerais na construção civil é considerada como indispensável para a manutenção do padrão de vida das populações, visto que o aproveitamento de outras fontes (madeira por exemplo) seria inviável do ponto de vista econômico e ambiental. Ocorre que, nas proximidades dos grandes centros de consumo, especialmente no entorno das regiões metropolitanas brasileiras, tais bens minerais de emprego direto na construção civil vem se tornando cada vez mais escassos em razão dos conflitos gerados a partir da compatibilização da mineração com outras formas de uso do solo ou mesmo limitações relativas ao planejamento urbano adequado às questões ambientais.

1.3. IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DA MINERAÇÃO DE AREIA

Durante toda a história humana, o aproveitamento de minerais sempre foi uma atividade extrativa importante para satisfazer as necessidades básicas. Não passado, os bens minerais tinham o objetivo de satisfazer e garantir a sobrevivência do homem e, na atualidade, tais substâncias estão sendo utilizadas para melhorar sua qualidade de vida.

A manutenção da qualidade de vida, dentro dos padrões modernos de consumo, é um dos maiores desafios da sociedade atual, uma vez que o seu aproveitamento, em grande parte, acarreta problemas relacionados à degradação ambiental e o aumento da poluição (COMUNE et al., 1982). De acordo com estudos realizados pelo “American Mining Congress”, a manutenção do padrão de vida atual em países desenvolvidos como os EUA exige um consumo de 10 ton/ano de bens minerais por indivíduo: brita (4,2 ton), areia e cascalho (3,9 ton), cimento (363 kg), argila (222 kg), sal (200 kg), rocha fosfática (140 kg), outros não metálicos (486 kg), ferro e aço (547 kg) (IBRAM, 1994).

A atividade de mineração, apesar de ser potencialmente poluente, se for bem gerenciada, pode ser desenvolvida com o controle dos impactos ambientais. Se considerarmos a quantidade de infra estrutura que o Brasil necessita para resolver a questão do déficit habitacional, ampliação de leitos hospitalares, salas de aula, saneamento básico, abastecimento de água potável, construção de hidroelétricas para geração de energia, faz-se necessário um grande aumento na produção de cimento e minerais de uso imediato na construção civil, em especial a areia. A atividade de mineração de areia representa um importante segmento do setor mineral, comporta um grande número de empresas, com um volume considerável de mão de obra e está concentrada junto aos principais centros urbanos do país, sendo bastante intensa nas regiões metropolitanas (FABIANOVICZ, 1998).

A areia e os demais insumos minerais diretamente utilizados no setor de construção civil apresentam, de acordo com WILSON (1993), ROSSETE (1996) e FABIANOVICZ (op cit.), os seguintes parâmetros relacionados e comentados, aos quais acrescentamos algumas complementações:

1. Exauribilidade: são bens minerais esgotáveis com o aumento da produção pelo fato de serem considerados não renováveis.
2. Rigidez locacional: essas substâncias minerais formaram-se a partir de processos geológicos localizados.
3. Monitoramento ambiental: a mineração modifica o meio ambiente, necessitando de um acompanhamento técnico e sistemático com recuperação de áreas degradadas do meio ambiente.
4. Porte/dimensões: as empresas que extraem agregados geralmente são pequenas ou médias.
5. Capital: o grau de risco da atividade de mineração de areia é relativamente baixo porque necessita de pouco capital investido em exploração.
6. Mercado: atende demandas, em sua maioria, de caráter local.
7. Abundância relativa: apresenta uma ampla distribuição geográfica, mas isto necessariamente não significa que existam grandes quantidades de depósitos de areia de boa qualidade em qualquer lugar.
8. Baixo índice de rejeito: na exploração de areia, o volume de rejeito é muito pequeno, com índices inferiores a 5 %.

9. Simplicidade de lavra e beneficiamento: no caso particular da areia, as operações de lavra são a céu aberto e junto ao beneficiamento, apresentam-se bastante simplificadas e geralmente pouco onerosas.

De acordo com HERMANN (1992) a geração de riquezas e o bem-estar constitui o primeiro impacto positivo do setor mineral da indústria de construção civil. A mineração de areia é responsável pela regulação e atendimento da demanda social e ampara economicamente as duas estruturas responsáveis pelo setor: a indústria extrativa (prospecção, pesquisa, lavra e beneficiamento) e a indústria de transformação mineral (metalurgia, geração de produtos fabris, compostos químicos, etc.). Podemos citar como impactos positivos advindos da exploração mineral o desenvolvimento regional, que constitui o alicerce para o surgimento e aquecimento de outras atividades econômicas. No que se refere à geração de empregos, a mineração mecanizada não é uma atividade expressiva em geração de mão-de-obra. Utiliza geralmente poucos empregados, em sua maioria de baixa qualificação técnica. O efeito multiplicador na geração de empregos indiretos ligados à atividade de mineração é evidente. Como exemplo a ser citado, para cada emprego direto na mineração, são gerados aproximadamente vinte empregos nas atividades de transformação. No setor cerâmico, esta relação pode chegar à cifra de 1:40. No caso da areia como agregado para construção civil, o índice é superior a 1:40. O recolhimento de ICMS também pode ser um fato positivo para o desenvolvimento da economia regional, desde que os governos e administrações que gerenciam os recursos tributários efetuem investimentos com esta finalidade.

CAVALCANTI (1991) aponta para os efeitos negativos ao meio ambiente que a lavra de areia gera em leitos de rios, destacando a liberação de argilas que provocam a turbidez da água, impedindo a oxigenação e penetração dos raios solares, prejudicando a proliferação da vida no ambiente aquático. Este impacto, apesar de momentâneo, pode ser considerado altamente danoso ao meio ambiente, especialmente no caso da fauna aquática, que apresenta um poder de recuperação lento. A má conservação dos equipamentos utilizados para a lavra de areia, incluindo, neste caso, o motor de embarcações, constitui outro fator que pode culminar no derramamento de óleo nas águas dos rios, causando contaminação de peixes e outros organismos.

O desenvolvimento de cavas durante a lavra de areia muitas vezes destrói os terraços dos rios, alterando o regime hidrológico. Quando há dragagem no interior do canal fluvial, a velocidade do fluxo da água muitas vezes é alterada no setor à jusante do local lavrado. Este

fato, associado à retirada da cobertura vegetal e a remoção de material provocam o assoreamento dos rios, pois são originados diversos pontos de susceptibilidade à erosão marginal.

BAUERMEISTER et. al. (1994) identificam alguns impactos ambientais decorrentes deste tipo de exploração mineral:

- Prática do desmatamento para ampliação da área da jazida e do pátio de depósito dos sedimentos,
- Poeira gerada pelos caminhões transportadores de areia,
- Pingamento de areia molhada nas rodovias,
- Revolvimento de sedimentos contendo poluentes e metais pesados gerados pelas indústrias,
- Dragagens próximas a áreas de preservação permanente protegidas por lei que acabam provocando o rebaixamento do lençol de várzea limítrofe, e,
- Geração de taludes íngremes e formação de grandes lagos de decantação durante e após a extração de areia.

A poluição visual ocorre geralmente nas áreas de entorno onde se desenvolve a atividade de lavra ou em depósitos de rejeitos dos areeiros. É comum a existência de conflitos da atividade minerária com a população local que freqüentemente alertam as autoridades competentes quanto aos problemas existentes.

1.4. ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Estado do Paraná, pertencente à Região Sul do Brasil, limita-se pelas coordenadas geográficas dos paralelos em 22° 29' e 26° 42' de latitude sul e pelos meridianos 48° 02' e 54° 37' de longitude oeste. Apresenta, como limites territoriais, o Estado de São Paulo ao norte, o Estado de Santa Catarina ao sul, o Oceano Atlântico à leste, Argentina, Paraguai e o Estado de Mato Grosso do Sul, à oeste. A maior parte do território paranaense situa-se na zona temperada do sul, apresentando temperaturas amenas (CIGOLINI et al., 1998).

De acordo com a classificação de KÖPEN, o Estado do Paraná apresenta um clima do tipo tropical superúmido no norte e oeste e um clima subtropical úmido nas demais regiões do Estado. As máximas diárias podem chegar a 40° C nas regiões norte, oeste, vale do Ribeira e litoral enquanto que em terras planálticas registram-se temperaturas até abaixo de zero no inverno. A média pluviométrica situa-se em torno dos 1.200 a 1.900 mm anuais de chuvas regularmente distribuídas, com exceção do litoral, que atinge 4.000 mm/ano (MAACK, 1981).

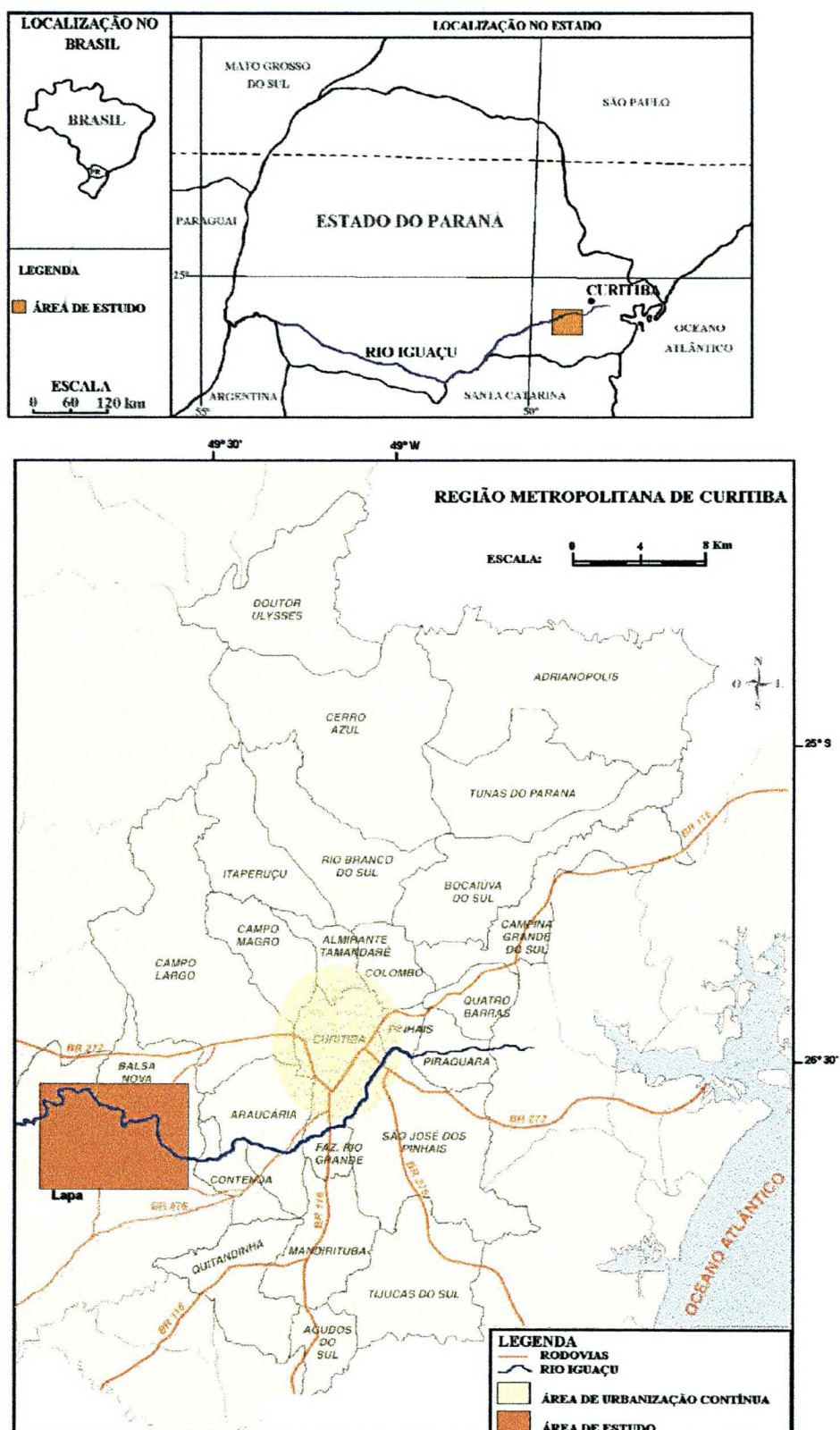
A rede hidrográfica do Estado do Paraná é bastante rica, constituída principalmente por rios de planalto que integram a grande bacia do Paraná. Muitos destes rios apresentam barragens para o aproveitamento hidrelétrico, tais como o rio Paraná, o Iguaçu e o Paranapanema. A maior parte dos rios tem suas águas dirigidas para o interior do continente. As águas fluviais somente atingem o mar depois de percorrerem mais de 2.500 km, via rio Paraná, até a foz do Rio da Prata, no Oceano Atlântico, entre a Argentina e o Uruguai (MAACK, 1981).

O rio Iguaçu, onde se localizam os depósitos de areia deste estudo, nasce na Serra do Mar, a 1.440 metros de altitude e abrange a maior bacia hidrográfica do Estado do Paraná, com cerca de 57.379 km². É navegável apenas no trecho de 239 km entre as localidades de Porto Amazonas e União da Vitória, tendo como afluente principal o rio Negro. A área alvo de estudo é o trecho do alto curso do rio Iguaçu que localmente atravessa a região mais urbanizada do Estado do Paraná onde se localiza a cidade de Curitiba. Corresponde a um recorte da área territorial do Estado do Paraná que abriga a Região Metropolitana de Curitiba, atualmente composta por 25 municípios (Curitiba, Adrianópolis, Agudos do Sul, Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Cerro Azul, Colombo, Contenda, Doutor Ulysses, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Mandirituba, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Quitandinha, Rio Branco do Sul, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná), distribuídos em uma área territorial total de 13.528,46 km² conforme CIGOLINI et. al (1998).

A região estudada abrange parte dos municípios da Lapa e Balsa Nova, na porção sudoeste da Região Metropolitana de Curitiba, área onde existem potentes depósitos de areia que atendem grande parte da demanda do setor de construção civil da região. Assemelha-se a um polígono irregular inserido no retângulo limitado pelas coordenadas geográficas dos paralelos em 25° 26' e 26° 00' de latitude sul e pelos meridianos 49° 00' e 50° 27' de longitude oeste (Figura 01). Várias rodovias permitem o acesso à área de estudo que fica a aproximadamente 50 km do centro de Curitiba. A BR-277 é o caminho mais indicado para se chegar ao local, partindo de Curitiba até a cidade de Campo Largo que fica a 32 km da capital. A partir deste ponto, percorre-se 18 km em uma estrada vicinal asfaltada até a cidade de Balsa Nova, localidade que fica às margens do rio Iguaçu, próxima da área objeto de estudo.

A região também é cortada por várias vias secundárias que possibilitam a interligação rodoviária com o Estado de Santa Catarina. A existência de uma intensa malha viária vicinal que recobre a área favoreceu sobremaneira os levantamentos de campo.

Figura 01: Área de Estudo - localização e acesso



Fonte: adaptado da COMEC, 1984.

2. AREIA

Sob o ponto de vista de SKINNER & PORTER (2000), as rochas sedimentares detríticas ou clásticas são formadas por fragmentos de rochas pré - existentes e classificadas de acordo com o tamanho do grão em: conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos das quais, os produtos desagregados ou sedimentos equivalentes são as gravas (cascalho), areia, silte e argila.

BIGARELLA et al. (1994) ressaltam que os sedimentos clásticos podem alcançar o tamanho desde grandes seixos até partículas submicroscópicas de tamanho argila. O mecanismo de transporte dos sedimentos pode ser feito por rolamento para as partes mais baixas do relevo, por efeito de gravidade, ou serem carregados pelo vento, pelo gelo ou por um fluxo de água. A deposição dos sedimentos depende da velocidade do agente de transporte e do tamanho, forma e densidade dos grãos que os constitui.

A maioria dos sedimentos clásticos grosseiros consistem em grãos de minerais e fragmentos de rochas que são menos susceptíveis ao intemperismo mecânico e químico. Grande parte das areias, por exemplo, têm um conteúdo maior de quartzo e/ou feldspato potássico que são os minerais formadores das rochas mais resistentes ao intemperismo, os denominados resistatos.

O mineral comumente encontrado em depósitos detríticos de areia é o quartzo. Trata-se de um mineral extremamente resistente ao impacto e inalterável diante do intemperismo químico, sofrendo apenas arredondamento provocado pelo desgaste durante seu transporte, seja fluvial ou eólico.

O quartzo apresenta sistema hexagonal romboédrico, peso específico de 2,60 a 2,66, dureza 7, índice de refração de 1,54 a 1,55 e ponto de fusão entre 1710 e 1756° C com baixo coeficiente de dilatação e má condutividade elétrica (ABREU, 1973; DANA, 1969; HOWIE, DEER & ZUSSMAN, 1992 e ERNST, 1996).

O quartzo é a única forma de sílica estável abaixo de 870°C, podendo ser encontrado nas seguintes variedades: quartzo hialino, ametista (roxo), citrino (amarelo), quartzo leitoso (branco), esfumaçado (marrom escuro e preto), e variedades criptocristalinas como a calcedônia, sílex, ágata, jaspe, etc.

Os depósitos de areia estão constituídos basicamente por grãos de quartzo. Os ambientes de sedimentação mais propícios para a formação de depósitos de areia são bordas de bacias de sedimentação (mares, lagos e lagunas), os leitos dos rios e os desertos.

LEINZ & LEONARDOS (1977), definem areia como sendo um sedimento clástico, não consolidado, composto essencialmente de grãos de tamanho que varia de 0,02 a 2mm. Os

grãos são freqüentemente de quartzo mas podem ser também de monazita ou outro tipo de mineral.

FAIRCHILD et al. (2000) esclarecem que a areia é um conceito relativo ao tamanho do grão, que na escala granulométrica apresenta uma dimensão entre 2 e 0,062 mm. PETTIJOHN (1972) expõe que os grãos individualizados de areia de tamanho 2 mm têm um volume aproximado de $4,2 \text{ mm}^3$ enquanto que grãos de areia de 0,0625 mm de diâmetro têm um volume aproximado de $0,00012 \text{ mm}^3$. Esclarece, ainda, que o termo areia enquanto depósito apresenta um significado muito mais abrangente, considerando-se não só o tamanho da partícula como também a sua gênese e composição.

Para BAUER (1985) e MINEROPAR (1994) o termo agregado é qualquer material granuloso e inerte que serve de enchimento e entra na composição das argamassas e dos concretos. A eficiência do agregado para concreto, no caso específico da areia, está relacionado com a uniformidade granulométrica. Caso tal característica seja cumprida, o consumo de cimento é reduzido porque a areia preenche os espaços vazios existentes nas estruturas de construção civil (vigas, colunas, pisos, etc).

No contexto atual, a desagregação das rochas através de processos de moagem e britagem em diferentes tamanhos preestabelecidos pelos usuários, atendendo especificações de mercado, possibilita a obtenção de um produto vulgarmente conhecido como areia artificial. Este produto representa um substituto da areia natural na indústria de construção civil.

2.1. CLASSIFICAÇÃO

Do ponto de vista granulométrico, existem diversos tipos de classes de areia que são classificadas de acordo com a dimensão dos grãos constituintes deste sedimento. A Tabela 01 exibe uma classificação da areia de acordo com a dimensão dos grãos conforme Wentworth:

Tabela 01: Escala granulométrica de WENTWORTH.

DIÂMETRO (mm)	WENTWORTH (americana)	
1024 a 256	MATACÃO	
256 a 64	BLOCO	
64 a 4	SEIXO	
4 a 2	GRÂNULO	
2 a 1	muito grossa	AREIA
1 a ½	grossa	
½ a ¼	média	
¼ a 1/8	fina	
1/8 a 1/16	muito fina	
1/16 a 1/32	grosso	SILTE
1/32 a 1/64	médio	
1/64 a 1/128	fino	
1/128 a 1/256	muito fino	
1/256 a 1/1024	argila	ARGILA
1/1024 a 1/2048	ultra-argila	

Fonte: Simplificado de SUGUIO (1973).

De modo geral, os minerais industriais, especialmente a areia, recebem nomes comerciais que, na maioria das vezes, estão relacionados com o seu uso. A classificação da areia de construção civil realizada durante a fase de beneficiamento mediante o uso de peneiras origina denominações comerciais conforme a dimensão do grão. A tabela 02 apresenta a classificação da areia em função do tamanho dos grãos no setor de construção civil.

Tabela 02 - Classificação da areia em função do tamanho dos grãos

CLASSIFICAÇÃO DE AREIA	TAMANHO DO GRÃO
Areia Grossa	2,00 a 1,20 mm
Areia Média	1,20 a 0,42 mm
Areia fina	0,42 a 0,075 mm

Fonte: ABNT (1955) apud HERMANN (1992).

Quanto ao formato dos grãos, as areias podem ser angularês, subangulares ou arredondadas. As variações no formato dos grãos vão depender da origem dos depósitos, do tipo de transporte e a distância percorrida pelas partículas.

Do ponto de vista da pureza, a areia é considerada um insumo mineral de caráter puro quando apresenta em sua composição uma maior quantidade de quartzo, sem ocorrência de

outras substâncias como o óxido de ferro, micas, feldspatos, etc. No que se refere à existência de substâncias nocivas, para CASTRO (s.d.), a areia considerada pura não deve exceder o seguinte limite: torrões de argila (3%), material carbonoso (1%), material pulverulento que atravesse pela peneira de 200 mesh (0,075 mm) e impurezas orgânicas que são detritos de origem vegetal.

O insumo mineral areia pode ser classificado de acordo com a sua granulometria, podendo ser fina, média e grossa. O termo comercial areia classificada significa que o material foi previamente lavado e separado dos componentes minerais argilosos.

Quanto ao uso no setor da construção civil, o termo areia bruta refere-se ao material que não sofreu beneficiamento enquanto que areia lavada é aquela que sofreu um processo de purificação por separação e lixiviação da fração argila. Muitas vezes, a areia é peneirada para obter-se granulometria apropriada para determinados fins, como por exemplo acabamentos, pisos, chapiscos, para obtenção do concreto, etc.

2.2. USOS

O quartzo é utilizado na indústria para diversos fins: cerâmica, preparo de pastilha de porcelana, faiança e refratários especiais, tijolo de sílica, indústria metalúrgica; quando moído é utilizado como abrasivo natural e pode ser transformado em carborundo (siliceto de carbono). É muito empregado na fabricação de vidro, silicato de sódio, pigmento (azul ultramar). Na indústria eletrônica, o quartzo é empregado devido à propriedade piezoelétrica que apresenta enquanto que quartzitos e arenitos servem como rochas de construção e revestimento. Areias, veios de quartzo e pegmatitos são fontes de quartzo para a indústria em geral.

A areia, o sílex e o quartzito podem ser utilizados para jateamento na limpeza de metais e fachadas de rochas ornamentais em edifícios e nas serras para o corte de mármore. A areia quartzosa pode apresentar usos mais nobres, como por exemplo fabricação de vidros estruturais produzidos pela indústria que são apropriados para janelas, vitrines e recipientes que apresentam propriedades especiais, empregados como embalagens, vasos, instrumentos químicos. Os vidros especiais são utilizados na elaboração de instrumentos ópticos (LEPREVOST, 1978).

A areia de praia quase sempre possui alta pureza, mas às vezes apresenta materiais diferentes do quartzo, como ilmenita, limonita e alguns silicatos de alumínio. É amplamente utilizada na fabricação de vidros, silicato de sódio e moldes para fundição. Para a fabricação de vidros especiais, a areia é submetida a processos de separação magnética com o objetivo de

diminuir a quantidade de impurezas de minerais com susceptibilidade magnética (PARK JR., 1980).

A areia é um insumo mineral de grande utilidade e de preço acessível. Apresenta reservas relativamente abundantes sendo considerada a matéria prima de maior consumo em nível mundial. A indústria de construção civil é a que mais consome este tipo de mineral, no entanto, existem outros setores industriais que utilizam o material como fonte de sílica. As areias destinadas a construção civil são encontradas em leitos de rios, possuindo uma granulometria maior do que as areias de praias e são, em geral, menos puras, contendo 10 a 20% de partículas de feldspato e outros detritos de rochas como a glaucomita e a mica conforme esclarece ABREU (1973).

No setor de construção civil, a principal aplicação da areia se dá na elaboração de concretos usados na construção e manutenção de edifícios, casas, estradas e em obras de saneamento básico, dentre outras. Trata-se de um insumo mineral importantíssimo, perfazendo cerca de 60% em termos de peso e volume do total utilizado neste setor.

HERMANN (1992) apresenta resumidamente outros usos e aplicações da areia:

- Vidraria: fabricação de vidros planos, embalagens, utensílios domésticos, vidros especiais para laboratórios e vidros ópticos. A areia para vidro deve ter um alto teor de sílica, e nesse sentido, utilizam a areia de praia por ser a mais pura.
- Cerâmica: fabricação de louças, ladrilhos, pastilhas esmaltadas, refratários, etc.
- Cimento: utilizam a areia quartzosa como elemento substituto da sílica na farinha do clínquer Portland.
- Siderurgia: fabricam moldes para proteção de lingotes e também de sinter.
- Fundição: são utilizadas principalmente as areias de praia devido à sua granulometria fina na fabricação de moldes para fundição de aço, ferro e outros metais.
- Indústria metalúrgica de não ferrosos: a areia comum que contém certo teor de matéria orgânica é utilizada para coletar escórias ou rejeitos durante o processo de refino do cobre secundário.
- Tintas e vernizes: fabricação de tintas refratárias para a fundição.
- Produtos asfálticos: fabricação de emulsões asfálticas.
- Explosivos: é empregada como carga na fabricação de explosivos.
- Indústria química: produção de silicato de sódio e carbeto de silício, matéria prima de alguns defensivos agrícolas.
- Perfumaria: sabões e vela e fabricação de saponáceos em pó e em pasta.
- Areias especiais: utilizada como material de filtragem nas indústrias em geral.

- Abrasivos: empregada na fabricação de lixas para o polimento de vidros , metais, mármore, granitos e limpeza de depósitos de óleo.
- Indústria de refratários ácidos: revestimento de fornos elétricos.
- Saneamento: usada em filtros para purificação de água e tratamento de esgoto.
- Extração de petróleo: utilizado como material abrasivo nos trabalhos de prospecção.
- Jateamento: para limpeza e polimento de diversas peças industriais.

2.3. MODALIDADES DE LAVRA DE AREIA

A tecnologia agrega valor e incrementa a atividade minerária. ABREU (1973) já argumentava que somente depósitos ricos e abundantes podem permanecer em atividade de exploração utilizando técnicas obsoletas ou emprego abusivo de mão de obra sendo que, a mecanização e a utilização de processos modernos de lavra constituem um pré requisito para o sucesso e bom desempenho da atividade minerária.

No Brasil raramente utilizam-se métodos de lavra modernos para a exploração de areia, fato que impossibilita uma maximização dos resultados obtidos. Não obstante, o aprimoramento das técnicas pode contribuir para evitar ou adiar o futuro esgotamento das fontes de bens minerais. Algumas vezes, os depósitos de areia, apesar de apresentarem um alto teor do elemento visado não podem ser aproveitados economicamente porque apresentam elementos nocivos que, muitas vezes, não podem ser retirados mediante o uso de técnicas habituais (MACHADO, 1989).

Sob o ponto de vista de CAVALCANTI (1991), existem quatro tipos de atividades de lavra para areia destinada ao setor da construção civil: lavra em solo de alteração, lavra em leitos de rios, lavra em cava seca e lavra em cava submersa.

2.3.1. Lavra em solo de alteração

É o tipo de extração de areia em que se aproveita a camada superficial do manto intemperizado. Geralmente, este tipo de lavra é realizada em terrenos constituídos por granitos, gnaisses, migmatitos e quartzitos. É feito o desmonte hidráulico e a areia é acumulada em um tanque para somente depois ser transportada para os silos ou separadores.

2.3.2. Lavra em leitos de rios

Neste tipo de lavra, a areia depositada no canal principal do rio é dragada por sucção e transportada até as margens do rio onde é efetuado o beneficiamento constituído por lavagem e seleção do material em peneiras e silos. Esta modalidade de lavra é a mais utilizada no rio

Tibagi, no noroeste do Estado do Paraná, praticamente desprovido de áreas de várzeas e terraços, portanto, os depósitos de calha concentram-se principalmente ao longo do canal principal deste rio.

2.3.3. Lavra em cava seca

No caso de lavras em cava seca, os depósitos de areia ocorrem em bancos e terraços fluviais que são desmontados mecanicamente a partir do decapeamento superficial do solo, removendo a camada estéril mediante o uso de retroescavadeiras. O material obtido é levado em canaletas para uma bacia de decantação sendo dragado por sucção para uma outra bacia onde se processa uma lavagem secundária dos sedimentos com jatos de água para a retirada de finos. Após esta etapa, a areia é transportada até os separadores que realizam o peneiramento preliminar para posterior estocagem e venda do produto.

Esta modalidade de lavra geralmente exige maiores cuidados referentes ao beneficiamento por se tratar de material mal selecionado na fonte, por isto, este método é mais freqüente em regiões carentes de areia provenientes de depósitos de calha fluvial bem selecionados. Esta modalidade de lavra é usada em alguns depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu.

2.3.4. Lavra em cava submersa

Nesta atividade de lavra realiza-se o desmonte mecânico dos barrancos e dos fundos de rios e lagos, basicamente utilizando-se os procedimentos similares adotados para a exploração de areia em cava seca.

Este método de lavra ocorre geralmente nas áreas de várzea onde se utilizam os seguintes procedimentos: ocorre o decapeamento da camada estéril através de retroescavadeiras; abre-se uma cava até atingir o nível freático; retira-se o excesso de água via bomba de sucção (dragagem) e, logo em seguida, o material é lavado e peneirado, processando-se a separação da fase grosseira. Trata-se do método de lavra mais utilizado para a exploração de areia na região do alto curso do rio Iguaçu, no Estado do Paraná.

3. MÉTODOS DE TRABALHO

De acordo com os objetivos propostos, foram utilizados os seguintes procedimentos para a execução deste trabalho de pesquisa cujos resultados estão apresentados nesta dissertação de mestrado: atividades de gabinete, trabalhos de campo e atividades em laboratório.

- Atividades de gabinete: as atividades de gabinete foram desenvolvidas mediante um levantamento bibliográfico de obras disponíveis em bibliotecas de centros universitários, instituições de pesquisa, tanto diretamente como por acesso via internet. Foram consultados documentos de órgãos ambientais e demais instituições envolvidas com a atividade de exploração de areia (Capitania dos Portos; IBAMA, IBGE, Prefeituras Municipais, DNPM, SUDERSHA, CPRM, IAP, MINEROPAR, etc). Realizaram-se visitas técnicas junto aos órgãos de fomento e controle da atividade de mineração de areia (IAP, MINEROPAR e DNPM), fato que permitiu o levantamento das fontes produtoras de areia e a consulta de dados relevantes sobre cadastramento e a situação legal dos empreendimentos da região investigada.

Posteriormente, realizou-se a análise de fotografias aéreas da área de estudo e a tabulação dos dados obtidos. Efetuou-se uma seleção preliminar de material cartográfico disponível que recobre a área alvo, o que possibilitou a confecção de um mapa de localização dos principais depósitos de areia encontrados no alto curso do rio Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba. Para a avaliação das reservas das áreas selecionadas, foi utilizado basicamente o método das isolinhas que se mostrou como o mais adequado por permitir extrapolações através de critérios geológicos. Dentro deste método, foram consideradas a espessura e a profundidade dos níveis arenosos. A espessura mínima considerada foi de 2 metros e a profundidade limite passível de exploração, de 40 metros.

Para a elaboração do mapa de reconhecimento da área do alto Iguaçu e os mapas de detalhe da área estudada, foram utilizados os seguintes produtos cartográficos:

- imagens de satélite em escala de 1:250.000 obtidas junto ao INPE.

- fotografias aéreas:

Fonte: ITC/DENGE – Projeto Paraná Faixa: 81 – VI Quadricula: SG22 X-c – VI série: 49.329, 49.331, 49.401 e 49.402, Escala aproximada: 1:25.000 em sobrevôo realizado em 07/06/80.

- cartas topográficas :

Folha Geológica Contenda XXIV –10 em escala 1:50.000 (1966)

Folha topográfica Curitiba SG 22 – IBGE/1976 – escala 1:1.000.000

- mapas temáticos:

Mapa de unidades do relevo do Brasil – IBGE/1993 – escala 1:5.000.000

Os produtos cartográficos foram digitalizados via “scanner” através do programa “Corel Draw” e “Adobe Photoshop”. O produto final foi obtido a partir do uso do programa “Spring”, que permitiu o tratamento das informações, a geração de legendas específicas para cada tema, assim como a adequação da escala de trabalho.

Finalmente efetuou-se a interpretação dos dados obtidos no campo e no laboratório.

- Trabalhos de campo: procedeu-se a coleta de amostras de areia encontradas nos terraços fluviais do alto curso do rio Iguaçu, nos municípios da Lapa e Balsa Nova.

O critério adotado para a seleção e amostragem dos horizontes típicos de depósitos representativos do Alto Iguaçu baseou-se na descrição de colunas estratigráficas em diversas cavas de areia das empresas de mineração existentes na região. Após a comparação entre as diversas colunas estratigráficas, considerando-se a cor, granulometria e composição mineralógica das camadas, verificou-se uma tendência regional dominante de semelhança entre as seqüências sedimentares ao longo do alto curso do rio Iguaçu. Este fato possibilitou a construção de uma coluna estratigráfica típica e representativa das características dos horizontes dos depósitos de areia da região.

Na área pesquisada existem três areeiros em atividade. Os areeiros Itabaúna e Durau são os mais importantes da região tanto do ponto de vista da produção como também com relação à tecnologia de lavra e facilidade de acesso e, por esta razão, as amostras de areia foram coletadas de diferentes horizontes de depósitos desses dois empreendimentos. Gerou-se, no campo, amostras de peso aproximado de 2 kg cada que foram posteriormente submetidas a análise granulométrica em laboratório.

Durante os trabalhos de campo, realizou-se a documentação fotográfica, descrição e cadastramento dos empreendimentos minerários situados na região do alto curso do rio Iguaçu. Como complemento a esta etapa, efetuou-se junto aos areeiros da região investigada, um levantamento de informações sobre infra-estrutura, produção e destino dos sedimentos explotados. Através de um questionário dirigido aos empreendimentos estudados, realizou-se

um levantamento qualitativo e quantitativo de informações sobre a produção e a demanda de areia, bem como de outros dados correlatos e de interesse para esta pesquisa (anexo).

O detalhamento geológico/geomorfológico e demais aspectos geoambientais foram feitos a partir de observações diretas acrescidas das informações levantadas na bibliografia.

- Atividades de laboratório: as atividades desenvolvidas em laboratório visaram identificar as características de granulometria e a determinação da proporção de quartzo e feldspato existentes nas amostras dos depósitos de areia da região do alto curso do rio Iguaçu. Inicialmente foi efetuada uma análise granulométrica por pipetagem e peneiramento no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da USP e da UFPR, mediante um jogo completo de peneiras. As amostras de areia foram submetidas a análises de acordo com as normas da ABNT, seguindo-se as especificações recomendadas na NBR 7217 (Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados) e na NBR 7389 (Apreciação Petrográfica de Agregados).

Para a análise granulométrica (anexo) utilizou-se, em média, 51g de areia por amostra coletada (massa inicial total), acrescentando-se ao material, 1g de dispersante fosfato de sódio. Posteriormente, efetuou-se a determinação dos teores de quartzo e feldspato dos diversos intervalos granulométricos encontrados nas areias amostradas. Para este efeito, realizou-se a análise macroscópica e semi macroscópica via lupa binocular caracterizando-se a abundância de quartzo e feldspato contido nas areias da região do alto curso do rio Iguaçu.

4. GEOAMBIENTE REGIONAL

4.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

A região Centro - Sul do Brasil apresenta diversas bacias tectônicas desenvolvidas durante o Cenozóico após lento soerguimento epirogênico terciário. Dentre estas bacias, destacam-se as de Curitiba, Taubaté, Itaboraí, Rezende, São Paulo, Bananal e Pantanal. A Bacia de Curitiba encontra-se estruturalmente posicionada no alinhamento tectônico denominado sistema *rift* da Serra do Mar, onde aparece uma extensa cobertura cenozóica constituída por sedimentos arenosos a argilosos de origem fluvial e lacustre, além dos depósitos aluviais cenozóicos da várzea do rio Iguaçu. Esta unidade se dispõe indistintamente sobre as rochas do Embasamento Cristalino pré-cambriano e da bacia do Paraná de idade paleozóica-mesozóica (IBGE, 1977).

Os depósitos de areia, alvo de estudo desta dissertação de mestrado, estão constituídos por sedimentos cenozóicos situados na porção sudoeste da Bacia de Curitiba. Estes sedimentos cobrem, em discordância erosiva, terrenos de diversas unidades litoestratigráficas, representadas pelo Embasamento Cristalino, Grupo Setuva, Grupo Açungui e Formação Guabirotuba. Estas unidades foram estudadas na região com o objetivo de se identificar as rochas que serviram de fonte para os depósitos de areia.

Os sedimentos arenosos em pauta constituem alvo de especial interesse para a indústria de agregados de uso imediato na construção civil na Região Metropolitana de Curitiba. Nas planícies litorâneas do Estado do Paraná também ocorrem sedimentos cenozóicos, destacando-se as de Paranaguá e de Guaratuba (SCHOBENHAUS, 1984).

4.1.1. Geologia regional e local

A geologia regional é de suma importância pois serve de base para o estudo das áreas fonte responsáveis pela formação dos sedimentos de areia do alto curso do rio Iguaçu.

Sob o ponto de vista da MINEROPAR (1994), as jazidas de areia do Estado do Paraná aparecem sobretudo em terrenos recentes, via de regra em formações de idade terciária a quaternária existindo, entretanto, alguns depósitos economicamente importantes de idade bem mais antiga que estão sendo presentemente lavrados em litologias pré-cambrianas.

Dentro de um contexto macrogeológico de análise, os depósitos areníferos paranaenses relacionam-se com a sedimentação cenozóica como exhibe a Figura 02.

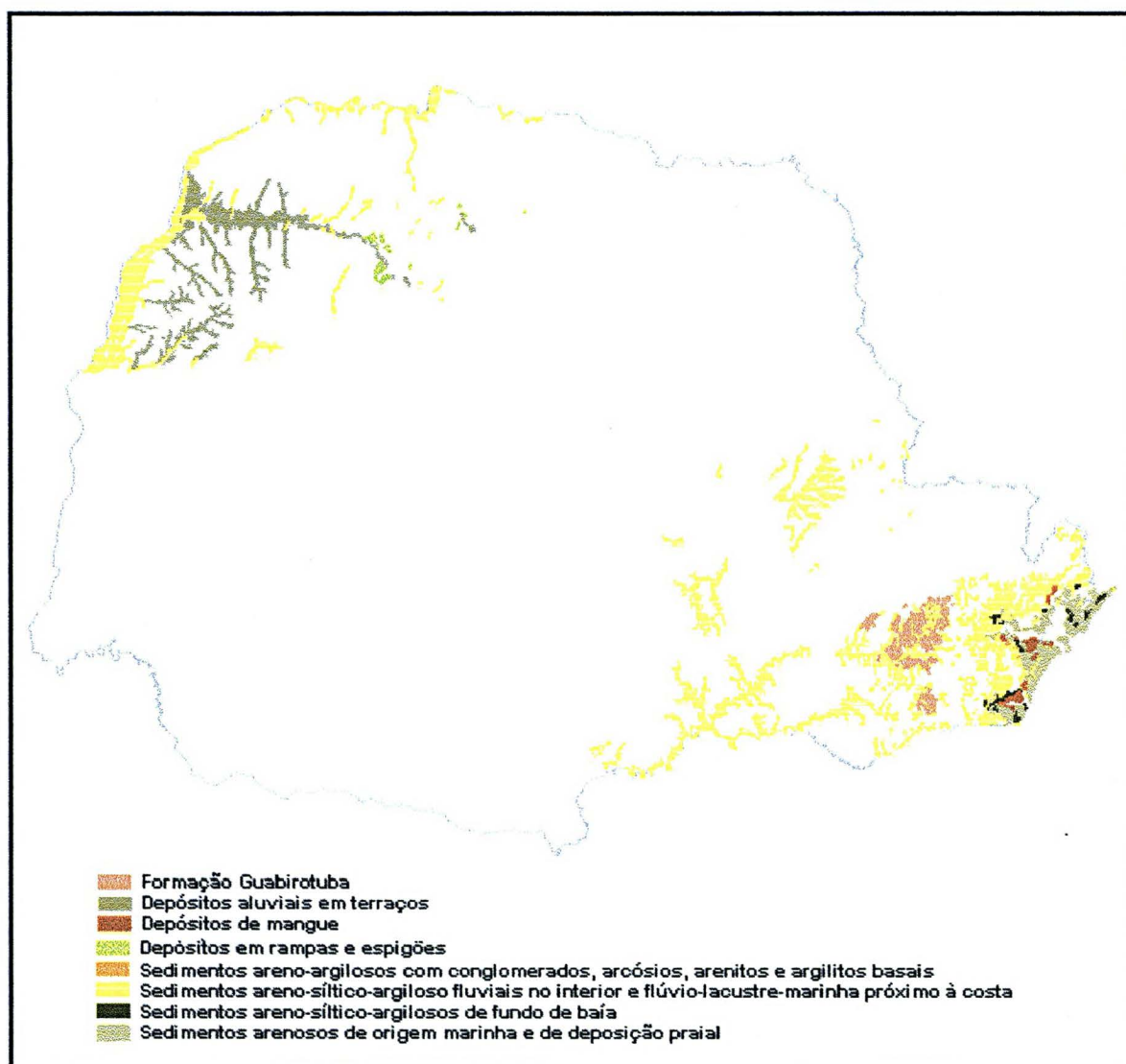


Figura 02: Sedimentação Cenozóica no Estado do Paraná.

Fonte: MINEROPAR, 2000.

A Formação Guabirotuba aparece no Primeiro Planalto, na região da Grande Curitiba e fornece grande quantidade de cascalhos que têm sido um ótimo material empregado para o revestimento de estradas. Estudos realizados por BATOLLA JR. et al. (1977) mostraram que na folha geológica Curitiba foram cadastradas 11 ocorrências de depósitos de areia. As lavras se desenvolvem na porção sul da área, concentrada na planície aluvionar do rio Iguaçu e na foz dos seus afluentes Itaquí e Piraquara, sendo que, praticamente todo o material é utilizado para a construção civil e fabrico de concreto e artefatos de cimento.

A CPRM (2000) também destaca a presença de potentes depósitos aluvionares no rio Iguaçu, porção leste de Curitiba. Ocorrem várias minas em atividade e, apesar das variações laterais nas espessuras dos pacotes de areia, os depósitos de várzea podem ter a sua relação

minério/estéril em torno de 1,25 m próximo à Piraquara, sendo que, os rios Iraí e Iguaçu apresentam as melhores condições de explotabilidade deste bem mineral em função da pequena cobertura de material.

Os depósitos aluviais gerados em terraços fluviais aparecem predominantemente no Terceiro Planalto, região noroeste do Estado do Paraná onde jaz o arenito Caiuá, principal litótipo que atua como área fonte de areia para uso na construção civil local (Figura 02). BARCELOS (1984) destaca um importante estudo do aproveitamento de areia realizado no norte do Estado do Paraná, em domínio litológico do arenito Caiuá, com finalidades de identificar alternativas úteis à utilização de materiais de construção para obras civis na região do Pontal do Paranapanema.

Depósitos de mangue e sedimentos siltico argilosos de fundo de baía ocorrem de maneira restrita na região litorânea, em geral, sem importância econômica. Os sedimentos arenosos de origem marinha e de deposição praial aparecem em grande quantidade neste compartimento geomorfológico, porém, o uso econômico das areias continua restrito à construção civil, com destaque para as importantes cidades produtoras de areia como Guaratuba, Matinhos e Paranaguá. Vale ressaltar que a referida região carece de estudos específicos de caráter qualitativo no que se refere ao aproveitamento econômico da areia de praia para uso industrial mais nobre, permitindo assim a instalação de empreendimentos industriais que se beneficiem da alta pureza deste bem mineral, gerando, desta forma, novas oportunidades de emprego para a população local.

Na região do Primeiro Planalto paranaense ocorrem depósitos areno-siltico-argilosos em ambiente fluvial que estão sendo presentemente explotados para uso em diversos setores industriais, com destaque para a argila; empregada na fabricação de telhas, tijolos, manilhas, refratários, cerâmica elétrica, pisos, azulejos e outras cerâmicas brancas além da areia; importante insumo mineral utilizado na construção civil (Figura 02).

A região do alto curso do rio Iguaçu/PR insere-se no contexto da Região Metropolitana de Curitiba, a qual apresenta uma área de aproximadamente 9.320 km² e limita-se à leste pelo divisor de água da Serra do Mar, a oeste pela denominada “Escarpa Devoniana”, ao sul pelos rios da Várzea e Capivari e ao norte pelo denominado Planalto do Alto Iguaçu, na faixa de divisores de água com afluentes do rio Ribeira do Iguape. Tal região abriga as seguintes litologias (Figura 03): Complexo gnáissico-migmatítico, Grupo Setuva, Grupo Açungui, Grupo Paraná, Grupo Itararé e Formações Cenozóicas.

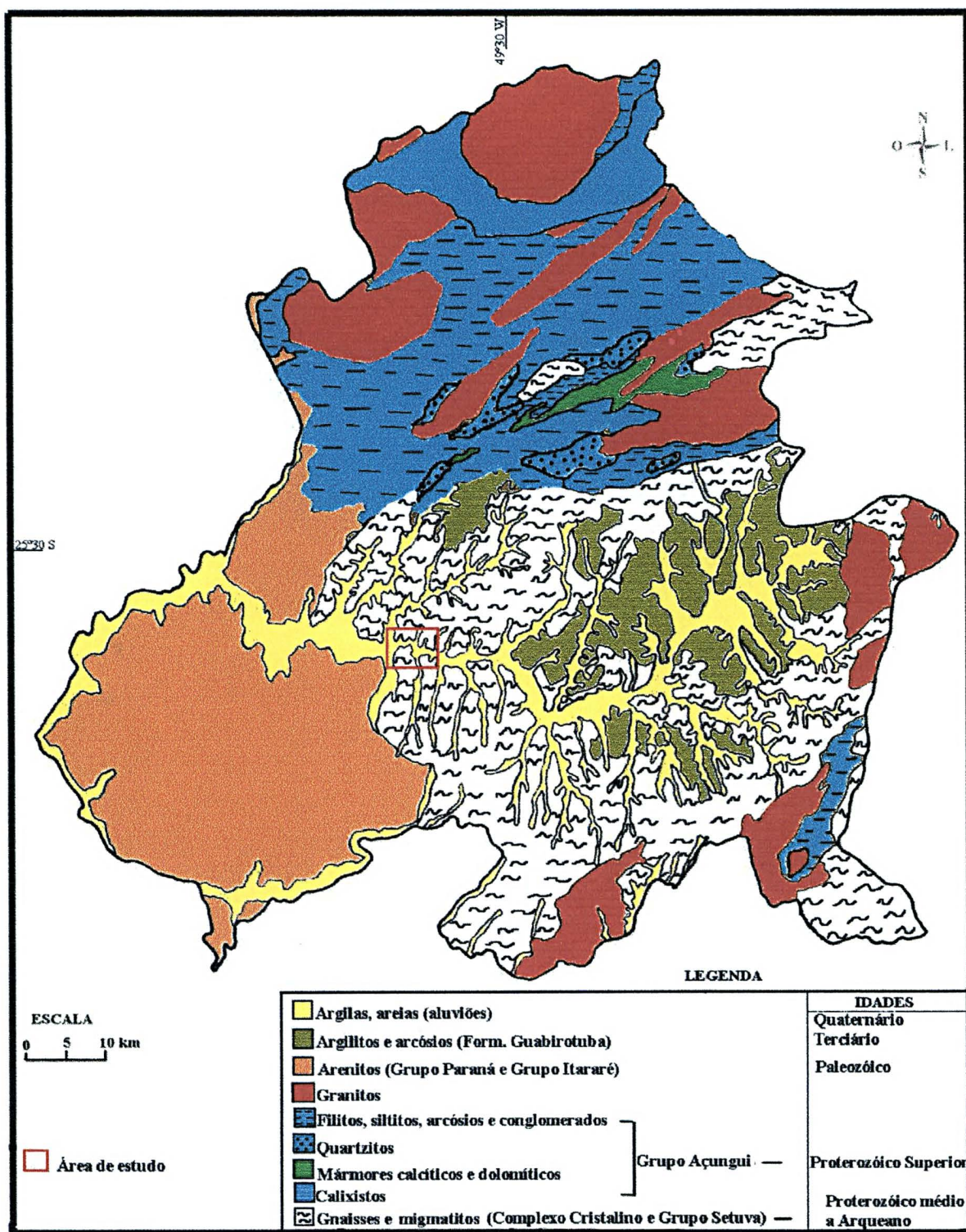


Figura 03: Mapa geológico da Região Metropolitana de Curitiba.

Fonte: COMEC, 1984 (modificado).

De acordo com BIGARELLA & SALAMUNI (1957) apud BECKER (1982) e CPRM (2000) as principais unidades geológicas que compõe o substrato da área em estudo (Figura 04) a partir de um contexto local de análise estão representadas por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas (embasamento cristalino), arenitos do Grupo Itararé e do Grupo Paraná (Formação Furnas e Formação Ponta Grossa) de idade paleozóica, além de sedimentos recentes de aluviões datados do holoceno (depósitos ativos de várzea, resultantes da erosão fluvial dos rios que drenam a área).

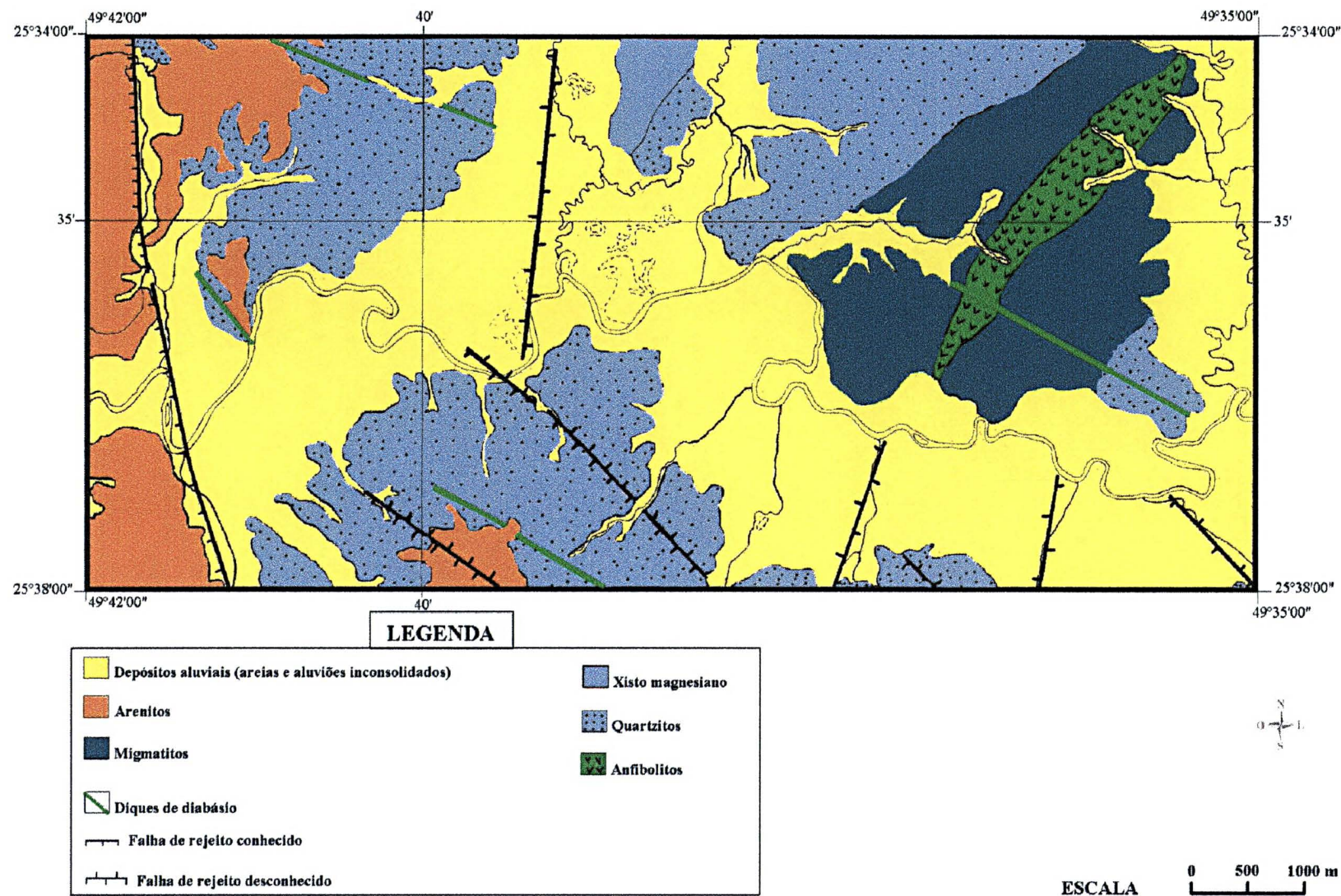


Figura 04: Mapa geológico da área de estudo.

A tabela 03 apresenta resumidamente a litoestratigrafia da área estudada:

Tabela 03: Litoestratigrafia da área de estudo.

ERA GEOLÓGICA		PERÍODO	UNIDADE GEOLÓGICA
Cenozóica		Quaternário	Aluviões inconsolidados
			Formação Guabirota
Mesozóica		Juro - Cretácico	Intrusivas básicas –diques de diabásio
Paleozóica		Carbonífero - Permiano	Grupo Itararé
		Devoniano	Grupo Paraná
			Form. Rio do Sul, Mafra e Campo do Tenente
			Form. Ponta Grossa e Furnas
Proterozóica	Superior	Algonquiano	Grupo Açungui
	Médio		Grupo Setuva
Arqueozóica		Arqueano	Complexo gnáissico – migmatítico

Fonte: Adaptado de BATOLLA JR et al. (1977) e CPRM (2000).

A. Complexo gnáissico-migmatítico

MAACK (1981) subdivide o embasamento pré-cambriano no âmbito da região de Curitiba em dois compartimentos: o Complexo Cristalino (Arqueano) constituído por gnaisses, quartzitos e outras rochas metamórficas e as rochas metamórficas da então Série Açungui, unidade formada por gnaisses mais recentes, onde jazem também lentes de filitos entre as cidades de Curitiba e Araucária e na região de Colombo e Campo Largo, em que predominam filitos e lentes de quartzitos e mármore calcíticos e dolomíticos.

Os migmatitos representam as rochas mais antigas da área, foram afetadas por metamorfismo de alto grau e sofreram processos de deformação durante diversos ciclos orogenéticos. Por força do poder erosivo de algumas drenagens, os migmatitos afloram em pontos isolados na área da Bacia de Curitiba (Bairro de Guabirota e Bacacheri) e no vale de alguns rios como o Piraquara, Ivaí, Iraízinho e Barigui (BATOLLA JR. et al., 1977).

Na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba, os migmatitos do embasamento cristalino encontram-se sotopostos aos sedimentos do Grupo Açungui. Na Bacia Sedimentar de Curitiba, porção sudeste da área investigada, os migmatitos apresentam-se intensamente dissecados pela rede de drenagem principal representada pelo rio Iguaçu e seus afluentes. Os sedimentos da Formação Guabirota na região de Curitiba recobrem a superfície de erosão dos migmatitos, estabelecendo contatos nítidos entre os litotipos presentes. Na borda oeste da referida bacia, onde afloram rochas areníticas do

Grupo Paraná e Itararé, aparecem freqüentes escarpas erosivas com espessas rampas de colúvio em contato direto com o embasamento cristalino (Figura 03).

Para FUCK, TREIN & MARINI (1967) corroborado por BECKER (1982) existem dois tipos de migmatitos: homogêneos e heterogêneos. Os migmatitos homogêneos compreendem os embrechitos e anatexitos enquanto que os heterogêneos são denominados epibolíticos.

Migmatitos homogêneos: correspondem a rochas de aspecto granitóide e granulação grosseira com bandejamento irregular e xistosidade pouco evidente. São ricos em feldspato que formam grandes fenoblastos envolvidos por uma matriz de quartzo, feldspato, biotita, hornblenda e minerais ferromagnesianos. Piroxênio e granada podem ocorrer esporadicamente, bem como alguns minerais acessórios como a pirita, magnetita, zircão e apatita.

O limite oeste dos migmatitos homogêneos encontra-se no sopé da escarpa do arenito Furnas (Serra de São Luiz do Purunã), região oeste de Campo Largo bem como junto aos arenitos da base do subgrupo Itararé na região de Mariental do Sul a leste da Cidade da Lapa e sul da cidade de Balsa Nova (BATOLLA JR. et al., 1977).

Os migmatitos pertencentes ao embasamento cristalino afloram na região leste da área alvo de estudo em contato com lentes de quartzitos, localmente inumados por sedimentos aluviais. Sua ocorrência é restrita, com dimensões variando de 0,5 km a 1,5 km de largura e até 4,5 km de comprimento. Anfibolitos encontram-se intercalados paralelamente à estrutura dos migmatitos, formando corpos alongados com direção preferencial SW/NE (Figura 04).

Migmatitos heterogêneos: são unidades extensas e formadas por associações estreitas de rochas cristalofílicas e rochas de aspecto granitóide. Aparecem em faixas máficas e félsicas, geralmente de espessuras centimétricas e até decimétricas. As faixas máficas podem apresentar, algumas vezes, espessura maior com uma composição mineralógica de hornblenda gnaiss, hornblenda-biotita gnaiss, diorito gnaiss e anfibolito. As faixas claras também podem ser espessas e constituídas de aplitos, biotita granitos de

granulometria fina, pegmatitos quartzo-feldspáticos com biotita conforme esclarecem FUCK, TREIN, & MARINI (1967) e BECKER (1982).

Os migmatitos ocorrem no Primeiro Planalto paranaense, numa área de afloramentos relativamente contínua, desde o contato com o Paleozóico até os grandes corpos graníticos da Serra do Mar, podendo ser encontrado nos municípios de Curitiba, Balsa Nova, Lapa, Catanduva, Contenda, Campina Grande do Sul, Piraquara, Morretes e São José dos Pinhais.

Na área de contato do Embasamento Cristalino com o Grupo Açungui aparecem filitos, sericita xistos, metassiltitos, lentes de quartzito puro, muscovita quartzito, biotita muscovita quartzito, itabirito, mármore dolomíticos, mármore calcíticos, metabasitos e algumas ocorrências de xistos magnesianos (CPRM, 2000).

Associações diversas: os migmatitos podem aparecer associados a numerosos corpos de xistos magnesianos, anfíbolitos e quartzitos.

Os xistos magnesianos afloram principalmente na região de Contenda e Araucária, sob a forma de corpos de dimensões relativamente reduzidas (desde alguns metros quadrados até 20 km²). Apresentam cor verde e são constituídos de talco, tremolita, actinolita, hornblenda, clorita, serpentina além de olivina e carbonatos. São considerados remanescentes de antigas rochas básicas e ultrabásicas que subsistiram às transformações originadas pela migmatização que ocorreu em nível regional. Na porção centro norte da área de estudo aparece uma pequena faixa de xistos magnesianos, associados a lentes de quartzitos parcialmente recobertos por aluviões inconsolidados (Figura 04).

Os anfíbolitos são bem freqüentes na região de Contenda, e podem ser encontrados em associações com os xistos magnesianos. Algumas lentes de anfíbolitos foram medidas ao sul de Contenda e na porção nordeste da área de estudo, possuindo 0,5 a 4,2 km de extensão por 0,1 a 0,5 km de largura, abrangendo áreas de no máximo 2 km (Figura 04). Formam corpos alongados, concordantes com a estrutura dos migmatitos. Apresentam granulação fina a média, cor verde escura a preta passando a cinza claro, quando a presença de quartzo e feldspato é significativa (BATOLLA JR. et al., 1977).

Os quartzitos ocorrem em faixas estreitas, intercaladas nos migmatitos nas regiões de Contenda, Piraquara, Campo Largo e Araucária. As lentes de quartzito apresentam 0,5 a

4,5 km de comprimento e 10 a 200m de espessura. As maiores exposições de quartzitos encontram-se nas porções norte e sul da área de estudo (Figura 04). As lentes de quartzito exibem afloramentos nas áreas de trechos meândricos do rio Iguaçu, formando rampas coluvionares pouco inclinadas que se interdigitam com os depósitos de terraços fluviais dos quais representam a área fonte da areia que os formam.

Os quartzitos são geralmente friáveis, exibem granulação média a fina e coloração branca. Foram observados feldspatos róseos, biotita, zircão e magnetita (BECKER, 1982).

Diques de idade cretácica com orientação NW-SE cortam discordantemente o conjunto litológico da área. São diques formados principalmente de micro-gabros e alguns tipos petrográficos como o basalto, diorito pórfiro e quartzo diorito de cor cinza escura a preta. Na área de estudo os diques apresentam relevos positivos quando cortam as rochas carbonatadas, junto a outras litologias são destacados apenas pela cor avermelhada dos solos como já observado por MINEROPAR (1997). Nos vales fluviais, os diques encontram-se mascarados pelos depósitos aluviais do rio Iguaçu e seus afluentes. As características descritas podem ser observadas nitidamente em fotografias aéreas e em parte estão representadas na Figura 04.

Em diversas cavas de areia da região do alto curso do rio Iguaçu aparecem camadas de argila de cor verde escuro resultantes de processos de intemperismo químico dos diques em ambiente redutor. Localmente, as camadas de argila exibem espessuras centimétricas e recobrem os depósitos de areia que estão sendo explotados.

Do ponto de vista estrutural destacam-se diversas falhas transcorrentes, principalmente na porção sul da área estudada (Figura 04). Tais falhas são responsáveis por alinhamentos estruturais que controlam em diversos trechos a direção e a inclinação do talvegue e por conseguinte da velocidade de fluxo das águas da rede de drenagem principal do rio Iguaçu. Trechos meândricos e até mesmo retilíneos existentes no rio Iguaçu e em alguns de seus tributários, além de depressões varzeanas, localizadas nas planícies fluviais, são evidências concretas que ilustram claramente o nítido controle estrutural que os falhamentos exercem no arcabouço geológico da área em apreço.

B. Grupo Setuva

Neste domínio geológico aparecem gnaisses, xistos, quartzitos, anfibolitos e mármore dolomíticos.

Tais rochas apresentam forte grau de deformação, efeitos de transposição e segregação de lentes de quartzo com idades atribuídas ao Proterozóico Médio como destaca ANDRADE E SILVA (1990).

O Grupo Setuva, na região apresenta faixas de quartzitos que atingem até 2,5 km de largura e orientação NE-SW, as quais sustentam os picos mais elevados.

Os filitos apresentam ocorrências mais expressivas e exibem bandeamento pela mudança de cor, podendo ser cinza claro, cinza escuro, cinza esverdeado, vermelho tijolo e castanho avermelhado, fato já observado por BECKER (1982).

As intrusões graníticas ocorrem em extensas e diversas áreas do Primeiro Planalto paranaense e na Serra do Mar. São, em geral, discordantes em relação às estruturas das rochas encaixantes, possuindo dimensões de stocks a batólitos, variando desde alguns quilômetros quadrados até mais de 1.000 km². Tais granitos cortam as rochas do Grupo Setuva e Açungui e também o embasamento cristalino. Entre as intrusões principais, destacam-se o complexo granítico Três Córregos e os stocks do Cerne, Piedade, Rio Abaixo, Barra do Brumado e o maciço granítico Anhangava.

BATOLLA JR. et al. (1977) identificaram na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba restritas ocorrências de quartzitos, em contato com corpos graníticos envolvidos por filitos e siltitos do Grupo Açungui. Na porção sudeste, tais litologias não apresentam expressão cartográfica relevante em escala regional e interdigitam-se com os migmatitos, e representam área fonte para os conspícuos depósitos de cobertura sedimentar ao longo do vale do rio Iguaçu e seus afluentes como produto da intensa erosão fluvial (Figura 03).

C. Grupo Açungui

Na porção norte do Planalto de Curitiba ocorrem espessas camadas de rochas de Idade Pré Cambriana superior que foram fortemente dobradas, onde se encontram alguns dos mais importantes recursos minerais da Região Metropolitana de Curitiba, excetuando-se as areias para construção civil, cujo potencial é inexpressivo neste compartimento litológico.

Esta sequência de rochas apresenta metamorfismo no grau baixo e sofreram uma tectônica rúptil-dúctil, com orientação preferencial das camadas NE – SW. A litologia predominante encerra filitos, meta-calcários, quartzitos, meta-conglomerados e xistos, geralmente, intrudidas por corpos graníticos (Figura 03). O Grupo Açungui encontra-se em contato tectônico com as rochas do Embasamento Cristalino e do Grupo Setuva conforme ressalta BECKER (1982).

D. Grupo Paraná e Grupo Itararé

A Formação Iapó, descrita por MAACK (1947) e PETRI & FÚLFARO (1983), formada por conglomerados polimíticos sub-horizontais que afloram na região de Castro – Tibagi, no Estado do Paraná apresenta uma espessura que não ultrapassa os 16m, jazendo em discordância sobre as litologias do Grupo Paraná, subdividido da base para o topo em Formação Furnas e Formação Ponta Grossa. Tais unidades litoestratigráficas aparecem no contexto da área estudada (Figura 03).

A Formação Furnas é uma unidade basal, constituída por um conglomerado ou arenito conglomerático que raramente excede 01 m de espessura e camadas de arenitos de vários metros de espessura. O conjunto encontra-se assentado diretamente sobre uma superfície aplainada, representada em grande parte pelo embasamento cristalino e também pelos Grupos Setuva e Açungui. A litologia predominante é arenítica, geralmente de granulação grosseira, localmente podendo ocorrer camadas mais finas, menos sílticas alternadas com arenitos conglomeráticos.

Nestas rochas, os feldspatos encontram-se alterados para caulim, e diminuem gradativamente em direção ao topo, onde predomina o quartzo, o qual exibe crescimento secundário e estão cimentados por sílica. Depósitos residuais de caulim originados a partir da alteração de feldspatos são aproveitados economicamente pelas indústrias de cerâmica e porcelana situadas na região de Campo Largo, Balsa Nova e Lapa como destacado por PETRI & FÚLFARO (op cit.) e MINEROPAR (1994).

A Formação Furnas aflorante na área apresenta continuidade em ampla região dos Estados do Paraná e São Paulo, na margem sul oriental da Bacia do Paraná. A área de exposição inicia-se no vale do rio Iguaçu, perto de Campo Largo, no Estado do Paraná, dirige-se e se alarga em direção noroeste até Tibagi, onde se observa uma flexão para

nordeste, seguindo até as proximidades de Itapeva, no Estado de São Paulo. Sua área de ocorrência apresenta aproximadamente 250 km de comprimento e 30 km de largura. O arenito forma escarpas dirigidas para fora da bacia, claramente subordinadas a falhas e diáclases, onde aparecem profundos canhões originados por rios epigenéticos que nascem a leste.

Em subsuperfície, o arenito Furnas estende-se do norte de Santa Catarina passando pelo Estado do Paraná e São Paulo e aflorando em Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, sendo que, a maior espessura verificada foi de 414 m durante trabalhos de sondagens realizados pela Petrobrás no Estado do Mato Grosso. Em afloramentos, a espessura do arenito Furnas raramente excede os 180 m (PETRI & FÚLFARO, 1983).

A Formação Ponta Grossa consiste em folhelhos argilosos, micáceos, finamente laminados, de cor cinza, localmente betuminosos ou carbonosos e folhelhos siltíticos a arenosos, com siltitos e arenitos muito finos subordinados.

No Estado do Paraná pode-se distinguir três membros pertencentes à Formação Ponta Grossa em bases litológicas: Jaguariaíva, Tibagi e São Domingos. Os folhelhos do membro Jaguariaíva encontram-se no topo da Formação Ponta Grossa e são restritos ao Estado do Paraná. Apresentam-se micáceos e siltíticos ou arenosos, com ocorrência de concreções sideríticas de forma irregular que atingem dimensões variáveis, desde poucos centímetros de diâmetro até mais de 01 m de comprimento. No topo, ocorrem folhelhos argilosos, pretos, carbonosos, físeis, com nódulos calcários na parte inferior. Arenitos muito finos a siltíticos ocorrem subordinadamente (MINEROPAR, 1997).

O contato entre o membro Jaguariaíva e a Formação Furnas é transicional. Na porção oeste da cidade de Balsa Nova, no contexto da área alvo de estudo, o membro Jaguariaíva exhibe finas camadas de siltito e folhelho, alternadas com espessas camadas de arenito. A relação areia – argila diminui gradualmente da base para o topo. Constataram que na porção média da Formação Ponta Grossa aparece o membro Tibagi, constituído por arenito siltítico muito fino ou siltito arenoso. Na maioria das ocorrências, o arenito do membro Tibagi é muito fino, argiloso, micáceo, laminado, cinza claro, exibindo cor de alteração gradando de amarelo – ocre para vermelho amarelado como já observado por PETRI & FÚLFARO (op cit.).

Na porção basal da Formação Ponta Grossa jaz o membro São Domingos predominantemente mais argiloso, exibindo cores escuras e contendo camadas betuminosas.

Em uma escala regional de análise, as rochas areníticas do Grupo Paraná e Grupo Itararé jazem principalmente na porção S/SW da Região Metropolitana de Curitiba formando o degrau da “Escarpa Devoniana” do Segundo Planalto paranaense como mostra a Figura 03.

No contexto local, sobre o embasamento cristalino que exhibe principalmente quartzitos, os arenitos encontram-se interdigitados morfologicamente com os sedimentos de várzea e formam relevos com escarpas abruptas, cortados por canais fluviais que geram cânhões epigenéticos, de acordo com o grau de dissecação do relevo. Nos pontos onde o embasamento cristalino foi praticamente exumado, em decorrência da intensa erosão fluvial, aparecem capeamentos remanescentes de arenitos, freqüentemente cortados por falhas e diques de diabásio.

O Neopaleozóico da região é representado pelo Grupo Tubarão, constituído por uma associação heterogênea de rochas compostas por argilitos, arenitos, siltitos, ritmitos, diatomitos e conglomerados que recebem diversas denominações, destacando-se os sedimentos do Grupo Itararé que jazem na área alvo de estudo.

O Grupo Tubarão aflora no lado oriental da Bacia do Paraná, em uma faixa relativamente estreita, porém alongada, distribuindo-se do Estado de São Paulo para o sul até o Uruguai. Ultrapassa geograficamente os limites do Devoniano, ocorrendo nos Estados do Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, jazendo diretamente sobre o embasamento cristalino (IBGE, 1977).

A Formação Itararé, subunidade do Grupo Tubarão aflora no Estado do Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Atinge suas maiores espessuras no Estado de São Paulo, com cerca de 1.300 m decrescendo gradativamente até o Rio Grande do Sul e o Uruguai.

A litologia mais comum do Itararé é constituída de arenitos, com espessuras variando de poucos centímetros até 40 a 50 metros. As cores são claras, cinza amareladas, ou cinza claro ou esbranquiçada nas porções menos afetadas pela alteração intempérica e aparecem também conglomerados (MINEROPAR, 1997).

Nos Estado de Santa Catarina e Paraná, a Formação Itararé é subdividida em Formação Campo do Tenente, Formação Mafra e Formação Rio do Sul.

Arenitos do Grupo Itararé pertencentes à Formação Mafra e Campo do Tenente afloram de forma homogênea na porção sudoeste da área pesquisada, exibindo, na maioria das vezes, escarpas abruptas que formam vales, localmente preenchidos por sedimentos coluvionares que cobrem parcialmente o Embasamento Cristalino e depósitos arenosos do terraço fluvial do rio Iguaçu (Figura 04). Cumpre ressaltar que a Formação Rio do Sul não aparece na região de estudo.

E. Formações Cenozóicas

Formações Cenozóicas consistem em coberturas sedimentares recentes geradas a partir de processos de intemperismo associados à ação climática e/ou erosão fluvial e atuação antrópica. Aparecem também espessos mantos de intemperismo tipicamente de origem colúvio – aluvionar (BIGARELLA et al., 1994).

Na Região Metropolitana de Curitiba, tais depósitos correspondem aos sedimentos inconsolidados encontrados nas várzeas dos rios que drenam a Bacia de Curitiba e arredores. Os sedimentos mais comuns são as areias, argilas turfosas e cascalhos em menor expressão. Tais depósitos encontram-se em grande parte sobre a Formação Guabirota, no entanto, as maiores ocorrências de depósitos aluviais de grande importância para a construção civil jazem sobre o Embasamento Cristalino, mais precisamente na região do alto curso do rio Iguaçu, municípios de Balsa Nova e Lapa conforme ilustra a Figura 03.

Os depósitos do Cenozóico Superior podem ser encontrados em altitudes superiores aos sedimentos da Formação Guabirota em cotas que variam de 870 a 970 m de altitude e, no que se refere à espessura, as camadas dos depósitos não excedem os 15 m (CANALI & MURATORI, 1981).

Os depósitos Cenozóicos da Bacia de Curitiba são em geral afossilíferos. As seqüências sedimentares representam o produto dos processos de aggradação associados a fenômenos de degradação da área fonte. Várias seqüências sedimentares se formaram durante a vigência dos processos de pediplanação, entre eles, as formações Guabirota, Alexandra, Graxain, Pariquera Açu, Riacho Morno, Guararapes, Tinguís, Resende, Camadas de São Paulo, etc. A deposição de diferentes estratos na Bacia Sedimentar de

Curitiba ocorreu em função dos episódios de pediplanação e de pedimentação durante épocas de clima semi-árido (BECKER, 1982).

Os sedimentos aluvionares distribuem-se principalmente em domínios da Bacia de Curitiba e do complexo do Atuba, ocupando as planícies aluvionares dos afluentes da porção norte e oeste da Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu e tendo como área de maior expressão geográfica, o setor montante deste rio. Caracterizam-se por depósitos de sedimentos inconsolidados, constituídos por argila, silte, areia, cascalho e argila turfosa e o conjunto não ultrapassa 07 metros em espessura. KAEFER et al. (1988), analisaram os resultados de 424 sondagens do tipo banka ao longo das várzeas do rio Iguaçu e seus afluentes principais excluindo áreas urbanas e identificaram, a partir de análises granulométricas, uma classe dominante de areia média fina (0,6 a 0,3 mm) e seixos (maior que 48 mm) em 415 análises. Estudos realizados em 553 amostras indicaram a possibilidade da utilização do material sedimentar para a indústria cerâmica (estrutural, branca e refratária) quando submetidas a queima a uma temperatura superior a 950° C.

BIGARELLA & MOUSINHO (1965) e CPRM (2000) assinalaram a presença de estratificações cruzadas acanaladas nos sedimentos cenozóicos muito relacionadas a canais anastomosados, gerados em clima seco. Tais autores apontaram a existência de três tipos de depósitos sedimentares na área: depósitos de cascalhos mais antigos, jazendo em contato erosivo sobre o assoalho da bacia, depósitos arenosos sobrejacentes, formados no surgimento de canais anastomosados e depósitos arenosos de canais meandantes e de enchentes interdigitados com os sedimentos das várzeas.

BATOLLA JR. et al. (1977) estudaram os sedimentos quaternários recentes que ocorrem na área da Bacia de Curitiba incluindo os depósitos de areia que recobrem as várzeas do rio Iguaçu e seus tributários Verde, Passaúna e Barigui. Os depósitos de areia da região do alto curso do rio Iguaçu, alvo de estudos desta dissertação de mestrado, concentram-se nas porções sul e sudoeste da Região Metropolitana de Curitiba, destacando-se sobremaneira a imensa planície aluvial delineada pelos rios formadores do Iguaçu, principal coletor de uma drenagem centrípeta e que se encaixa em um anfiteatro raso com diâmetro que varia de 06 a 09 km. Os depósitos aluviais do Alto Iguaçu e ao longo dos principais cursos d'água da região são considerados do Cenozóico Superior uma vez que sofreram e ainda sofrem processos deposicionais e seus sedimentos repousam quase sempre

sobre as rochas antigas do Complexo gnáissico migmatítico, com raras exceções, como a montante de pequenos riachos, onde o fundo de vale é formado por sedimentos da Formação Guabirotuba.

Os depósitos cenozóicos ocorrem sobre rochas do Grupo Açungui e do complexo gnáissico migmatítico ao longo das drenagens principais da região. São compostos por cascalhos e areia de granulometria média e grossa com seixos subarredondados e subangulosos de quartzo, gradando para areia pura, areia com matriz argilosa e argila plástica cinza no topo. A espessura dos depósitos variam, em média, em torno de 3 metros, sendo capeadas por solos hidromórficos com espessura de 01 m (MINEROPAR, 1997).

A espessura máxima dos depósitos de areia ainda é desconhecida, muito embora tenham sido realizadas sondagens no perímetro urbano de Curitiba em que se registraram valores de até 15 metros. Espera-se, portanto, a partir destas constatações, que espessuras maiores sejam encontradas, não somente na área de domínio da Formação Guabirotuba como também para os depósitos de várzeas encontrados ao longo das principais drenagens da região, principalmente na região do alto curso do rio Iguaçu, municípios de Lapa e Balsa Nova, importante área de exploração de areia para construção civil cujo real potencial arenífero encontra-se ainda inferido (BATOLLA JR. et al., op. cit.).

Os depósitos aluviais do Cenozóico Superior são os mais expressivos em termos de extensão geográfica no contexto da área de estudo. Apresentam em média 1 a 2 km de largura. A planície aluvial aumenta consideravelmente nos trechos em que os tributários confluem para o rio Iguaçu e diminui nos pontos em que a drenagem intercepta litologias mais resistentes. Nos rios de segunda ordem, a área de deposição de sedimentos é restrita, principalmente em locais de maior gradiente topográfico ou rochas menos susceptíveis a processos de morfogênese fluvial (Figura 04).

Embora não esteja totalmente esclarecida a origem da Bacia de Curitiba no que concerne ao seu preenchimento sedimentar, podemos considerar a hipótese de represamento tectônico, notado através de pequenos falhamentos na zona ocidental da Bacia de Curitiba, fato que teria facultado o espessamento da Formação Guabirotuba e a alteração da geomorfologia regional. Deve ser ressaltado o papel das mudanças climáticas e da atuação antrópica para a modificação da capacidade de transporte do material detrítico e conseqüente formação de depósitos cenozóicos (BECKER, 1982).

A Formação Guabirota apresenta-se exposta predominantemente na porção sul - sudeste da folha de Curitiba, jazendo sobre o embasamento cristalino, notadamente no município de Curitiba, ocupando uma área de aproximadamente 900 km². A Bacia de Curitiba foi palco de intensos processos erosivos, fato que provocou a dissecação da Formação Guabirota, exibindo contornos irregulares, comumente fragmentada em áreas geográficas separadas por depósitos de várzea do rio Iguaçu, que se assentam diretamente sobre o embasamento cristalino (Figura 03).

Sob o ponto de vista de MINEROPAR (1997), o argilito é a litologia reinante, mostram cores que variam de cinza a cinza esverdeado e avermelhado em função do intemperismo. Apresenta granulometria fina e com presença de grãos de feldspato e quartzo com até 2mm de diâmetro. A estratificação é praticamente ausente ou imperfeita. Os argilitos aparecem predominantemente intercalados com lentes de arcócio localmente ocorrendo concreções de carbonatos. São em geral, mal selecionados, por vezes conglomeráticos, podendo conter seixos subarredondados a subangulares de natureza variada. O feldspato presente varia de 20 a 40% e os sedimentos que preenchem os paleocanais podem apresentar estratificação cruzada.

Segundo BIGARELLA & SALAMUNI (1962) e CPRM (2000) a Formação Guabirota é o pacote sedimentar mais antigo da Bacia de Curitiba. Os referidos autores ressaltam que, durante a primeira fase de formação da Bacia, datada aproximadamente do Plio - Pleistoceno, o clima era semi-árido, fato que possibilitou a desagregação do regolito durante a vigência de condições ambientais mais úmidas. As variações climáticas seriam responsáveis pela remoção deste manto de intemperismo, o qual seria transportado durante os períodos de chuvas intensas sob a forma de fluxos de lama.

A Formação Guabirota está assentada em discordância angular sobre as rochas decompostas do Complexo gnáissico migmatítico. O paleorelevo da bacia exhibe colinas e declives por vezes abruptos e em alguns pontos, a superfície encontra-se exumada. Sobrepostos a esta formação, existem em alguns locais, sedimentos recentes, principalmente areias, que compõem os depósitos de várzeas de planície de inundação e os baixos terraços que margeiam as várzeas dos rios atuais.

O Quaternário na Bacia de Curitiba atesta a presença de várzeas que constituem planícies de inundação recentes, cujos sedimentos estão em contato com o embasamento

cristalino. Essas várzeas aparecem principalmente no rio Iguaçu e seus afluentes de cabeceira. Tornam-se extensas à leste do sítio urbano de Curitiba em função da junção dos rios Iraí, Atuba, Palmital, Pequeno, Itaqui, etc. que se unem para constituir o Iguaçu, fato já observado por BIGARELLA & SALAMUNI (1962). A espessura da Formação Guabirota é variável em função do modelado da superfície pré sedimentar com valor médio máximo de 60m. Os seus sedimentos não apresentam perturbações causadas por movimentações tectônicas mesmo de pequena expressão (BATOLLA JR. et al., 1977).

Sobre os sedimentos da Formação Guabirota ocorrem terraços escalonados de litologia arenosa e argilosa. Os terraços atuais, situados em cotas inferiores a 950m de altitude, estão embutidos nos sedimentos mais recentes da Bacia, constituindo terraços de preenchimento.

Os depósitos recentes diferem da Formação Guabirota por possuírem menor quantidade de argila, sendo mais comuns termos silticos a arenosos. Não exibem arcósios e nas várzeas podem ser encontradas camadas de argila turfosa com quantidades variáveis de matéria orgânica, ausentes na Formação Guabirota conforme destacam BIGARELLA & SALAMUNI (op cit) e BECKER (1982).

A tabela 04 resume as principais características do contexto geológico da área investigada.

Tabela 04: Unidades geológicas, escalas e características das áreas.

Unidades Geológicas	Escalas	Características da área	Localização
Depósitos aluviais Holocênicos	Topológica	Aparecem sedimentos argilosos, conglomerados e areias.	Vale do rio Iguaçu
Formação Guabirota	Sub-regional	Ocorrem argilitos e arcósios.	Bacia de Curitiba
Formação Furnas e rochas intrusivas do Cretáceo.	Local	Presença de rochas areníticas capeando o embasamento cristalino, diques de diabásio.	Oeste da Bacia de Curitiba
Grupos Paraná e Itararé	Sub-Regional	Ocorrem arenitos.	Sudoeste da Bacia de Curitiba
Grupos Açungui, Setuva e Complexo gnáissico-migmatítico	Regional	Presença de metassedimentos detríticos e carbonáticos. Gnaisses e migmatitos.	Norte da Bacia de Curitiba

4.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

O estudo das formas de relevo é de fundamental importância para a caracterização geoambiental, haja vista o grande vínculo existente entre as feições geomorfológicas, os processos erosivos atuantes e os demais fatores que compõe a paisagem. Consiste, também, em uma ferramenta eficaz no auxílio à pesquisa geológica, permitindo a definição de jazidas de depósitos minerais provenientes de processos de intemperismo, erosão e sedimentação, particularmente as areias para uso imediato na construção civil. Este fato foi ressaltado nos trabalhos de MOURA et al. (1991) e BIGARELLA et al. (1994).

A paisagem funciona como um sistema aberto, apresentando diferentes níveis de emissão e recepção de matéria e energia. As superfícies mais elevadas representam áreas predominantemente de emissão de matéria e energia, de onde provém a contribuição dos sedimentos coluvionares. As áreas de recepção de matéria correspondem aos fundos dos vales, preenchidos por uma cobertura sedimentar a medida em que se processa a erosão da vertente (GUERRA & CUNHA, 1994).

Processos erosivos nas vertentes associados à dinâmica fluvial são responsáveis pela formação de potentes depósitos de areia ao longo do canal de drenagem tal como ocorre na planície aluvial e no terraço fluvial do alto curso do rio Iguaçu, no Estado do Paraná, região objeto de estudos desta dissertação de mestrado.

4.2.1. Considerações sobre a evolução geológico/geomorfológica regional e local

Para MAACK (1981), em uma escala genérica de análise, o relevo do Estado do Paraná pode ser dividido em cinco regiões naturais: litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto, Segundo Planalto e Terceiro Planalto.

A área alvo deste estudo está situada no Primeiro Planalto, parte integrante do Planalto Meridional do Brasil, limitada a leste pela Escarpa da Serra do Mar e a oeste pela “Escarpa Devoniana”, esculpida nos sedimentos Paleozóicos, apresentando altitudes médias de 850 a 950 metros. O Primeiro Planalto pode ser subdividido em três microrregiões: região serrana do Açungui, Planalto de Maracanã e o Planalto de Curitiba, assentado sobre uma bacia sedimentar, cuja topografia é dominada por colinas suavemente onduladas (MAACK, op cit., BIGARELLA et al., op cit. e CIGOLINI et al. 1998).

Um dos cinco grandes compartimentos morfológicos e paisagísticos do Estado do Paraná é o Primeiro Planalto. O primeiro Planalto é caracterizado por uma ampla superfície de erosão, conhecida pelo nome de Superfície do Alto Iguaçu onde se encontram os depósitos de areia estudados.

O primeiro Planalto paranaense possui restos de planaltos dissecados situados entre 1.000 e 1.100m e algumas linhas de crista, que podem atingir de 1.200 até uma pouco mais de 1.300m de altitude. É um extenso compartimento de eversão, entalhado abaixo do paleoplano Pré – Devoniano sobre o qual se processou a deposição dos sedimentos Paleozóicos. Esta superfície foi palco de intensa erosão desenvolvida principalmente durante a tectônica de falha pós Cretácea, resultando em uma paisagem suavemente ondulada, com bacias aluviais e várzeas preenchidas por sedimentação cenozóica. Entre as bacias que ocorrem no planalto, destaca-se a de Curitiba que contém acumulação flúvio – lacustre sendo que, tais depósitos, encontram-se recobertos por materiais de terraço e de várzeas (IBGE, 1977).

Sob o ponto de vista de MAACK (1981), o Primeiro Planalto Paranaense é notavelmente uniforme numa extensão de 75 km, formando uma paisagem suavemente ondulada, com planícies de várzeas intercaladas por sedimentos fluviais e paludais do Quaternário recente, onde predominam argilas, húmus ácido e areias. Esses sedimentos ocupam os vales dos rios, principalmente a larga planície aluvial do rio Iguaçu até sua bacia de captação de várias nascentes.

Todos os sedimentos Quaternários jazem diretamente sobre as rochas cristalinas.

O rio Iguaçu, nasce no Primeiro Planalto entra no Segundo Planalto por um boqueirão epigenético bastante largo. É mais antigo do que a linha de cuesta e sua rede hidrográfica, no curso superior, concorreu e ainda concorre para o rebaixamento do Primeiro Planalto através da eversão das rochas cristalinas, desprovidas de camadas protetoras. Apresenta extensas áreas de várzea no seu curso superior, onde se encontram depósitos de areia para uso na construção civil.

Para a presente abordagem, do ponto de vista geomorfológico, a COMEC (1984) subdivide a região do Primeiro Planalto em quatro compartimentos (Figura 05): Serra do Mar, Primeiro Planalto – Norte, Primeiro Planalto – Sul e Segundo Planalto e suas escarpas.

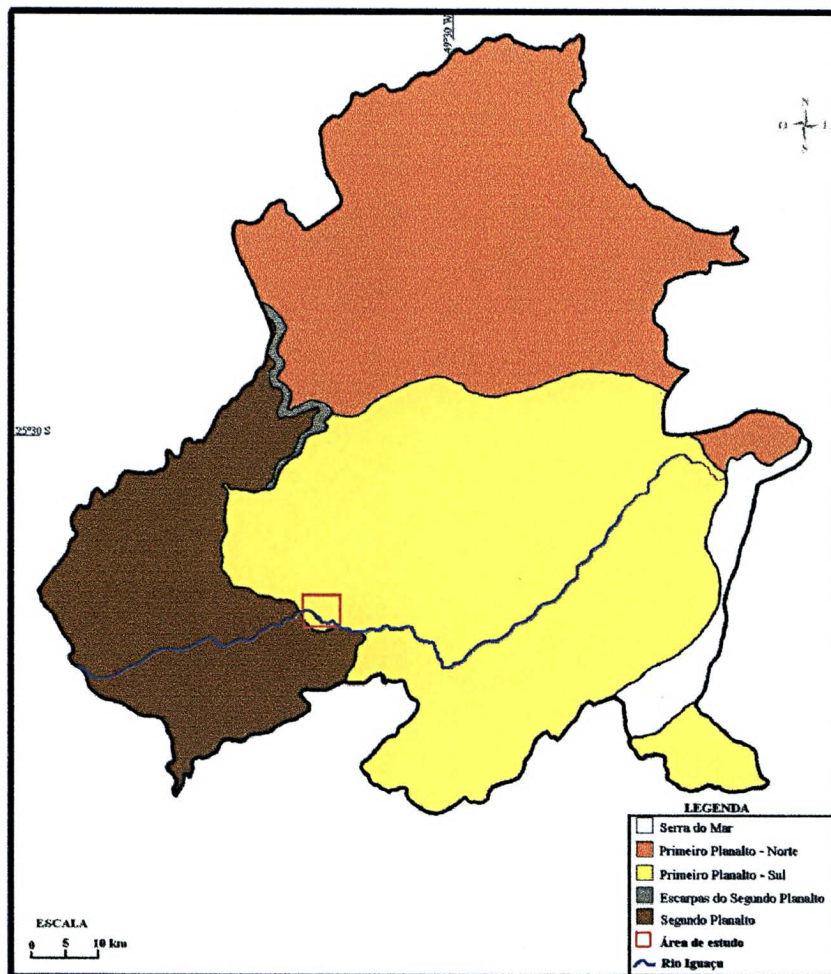


Figura 05: Compartimentação geomorfológica da Região Metropolitana de Curitiba

Fonte: Adaptado da COMEC, 1984.

Perante o exposto, apresenta-se uma breve descrição das principais características do relevo existente na área de estudo.

A. Primeiro Planalto -Sul

O relevo da porção sul do Primeiro Planalto encontra-se entalhado sobre rochas pré-cambrianas cristalinas, apresentando altitudes mais modestas e modelado suave, com o predomínio de relevos arredondados, exibindo perfil de vale em forma de V bastante aberto. As planícies aluviais são feições raras na porção norte do Primeiro Planalto, existindo, entretanto, planícies de soleiras (Figura 05). Por outro lado, na porção sul do Primeiro Planalto, ocorrem com frequência extensas planícies aluviais que abrigam potentes depósitos de areia, desenvolvidas ao longo dos rios Iguaçu e seus afluentes (BECKER, 1982).

O relevo é dissecado, formado por inúmeros morros sub-arredondados, denotando uma grande uniformidade para a sua área de ocorrência. Praticamente não existem relevos de cristas, os interflúvios têm pequena dimensão, apresentando-se muito recortados, embora menos dissecados do que as rochas graníticas.

Caracteriza-se no conjunto, como uma região de topografia ondulada, de colinas arredondadas, com altitudes oscilando entre 850 a 950m entalhadas em rochas migmatíticas antigas e sedimentos recentes. Os sedimentos recentes ocupam a porção central e jazem diretamente sobre o embasamento cristalino, compostos em sua maioria por argilitos, arcósios, margas, areias e conglomerados que preenchem uma área deprimida, constituindo a Bacia Sedimentar de Curitiba. A drenagem principal é o rio Iguaçu e seus tributários que seguem nitidamente uma direção preferencial leste/oeste cortando as escarpas do Segundo e Terceiro Planalto, indo desaguar no rio Paraná.

Nas porções central e norte, a superfície do Primeiro Planalto Sul corta uniformemente gnaisses e granitos antigos, rochas da Série Açungui com seus granitos intrusivos e sedimentos do Quaternário antigo (superfícies do Alto Iguaçu e de Curitiba do Neo Terciário e Pleistoceno). O pedestal do Primeiro Planalto é formado por um antigo tronco cristalino de dobras, que sofreu denudação e aplainamento, com orientação preferencial horizontal. O peneplano ora formado serviu de superfície de deposição dos sedimentos da transgressão devoniana e, atualmente, como depósitos dos sedimentos do Cenozóico Superior utilizados no setor de construção civil da Região Metropolitana de Curitiba. No vale do rio Iguaçu, porção centro -sul do Primeiro Planalto Sul, como também entre Castro e Pirai do Sul encontram-se granitos e quartzo – pórfiro recobertos por sedimentos do Quaternário formando extensas áreas de várzeas (MAACK, 1981).

A área de estudos abrange os municípios de Lapa e Balsa Nova que se encontram no Primeiro Planalto - Sul ou Planalto de Curitiba, região drenada pelo rio Iguaçu e seus afluentes, composto por rochas do Embasamento Pré Cambriano, entre elas os gnaisses, granitos, quartzitos, xistos, filitos, mármore calcíticos e dolomíticos. Estas rochas são cortadas por diques de diabásio e intrudidas por corpos ígneos alcalinos do Cretáceo sendo que, na região de Curitiba, estão cobertas pela Bacia Sedimentar de Curitiba, de idade Terciária – Quaternária (Figura 05). Predominam feições do tipo meia laranja com colinas alongadas e suavemente onduladas em razão da conspícua denudação e erosão fluvial além

de regiões montanhosas de menor expressão regional, principalmente na porção norte do Primeiro Planalto, tais como as Serras de Ouro Fino e da Bocaina em contraste com as feições suavemente onduladas formadas por filitos e mármore menos resistentes.

B. Segundo Planalto e suas escarpas

O Segundo Planalto limita-se à leste pela “Escarpa Devoniana” e a oeste pela escarpa Triássica da Serra da Esperança. Pode ser individualizado como um patamar intermediário, constituído por relevos tabulares que formam cuestras e plataformas estruturais mais dissecadas no sentido oeste (Figura 05).

Apesar das altitudes médias situarem-se em torno dos 700 a 800 m chegando até a 1.000 e 1.200m nos terrenos mais elevados, a faixa Paleozóica exibe características planálticas típicas sob a forma de camadas horizontais que mergulham suavemente para oeste e escarpas abruptas à leste. Destacam-se como formações mais resistentes, os arenitos basais devonianos que formam a Serra de São Luiz do Purunã, com altitudes entre 1.100 a 1.200m. Entre as rochas que compõe o Grupo Itararé e o Grupo Tubarão, destacam-se os sedimentos flúvio glaciais (especialmente folhelhos) que produzem relevos com vales largos e encostas suaves, enquanto que os arenitos da Série Tubarão formam outeiros e até degraus bem marcados e íngremes.

A Serra de São Luiz do Purunã, porção meridional da “Escarpa Devoniana”, aparece na região noroeste da área de estudo como uma escarpa a mais de 250m de altitude acima do nível de base regional, talhada no arenito Furnas, dominando a depressão disposta à leste, escavada em filitos e calcários da Série Açungui.

Inseparável da dissecação do modelado, a rede de drenagem regional encontra-se adaptada em relação aos lineamentos estruturais da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando rios conseqüentes correndo para oeste, seguindo a mesma direção do mergulho das camadas sedimentares, adaptando-se ao mesmo tempo, às linhas de estrutura dos arenitos (diáclases) ou a direção dos diques de diabásio. O rio Iguaçu seccionou a “Escarpa Devoniana” gerando profundos canyons ou boqueirões conforme já destacado pelo IBGE (1977).

A escarpa de estratos que limita nitidamente a zona de eversão do Primeiro Planalto é formada pelo arenito Furnas. O degrau é uma cuesta originada por erosão. O arenito

Furnas acunha ao sul do rio Iguaçu, na região de Balsa Nova, ocasião em que a escarpa desaparece, dando lugar a relevos representados por mesetas isoladas (Morro do Monge), e pequenos platôs, sustentados por sedimentos glaciais do Carbonífero Superior (BIGARELLA et al., 1994).

Morros testemunhos ainda com capas de arenito documentam que o arenito Furnas primitivamente se estendia mais para leste sobre o embasamento cristalino na região do Primeiro Planalto Sul, onde hoje se encontram os depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu que estão sendo amplamente utilizados no setor de construção civil da RMC.

A Figura 06 exhibe a hipsometria da área de estudo incluindo a rede de drenagem principal representada pelo rio Iguaçu e seus afluentes.

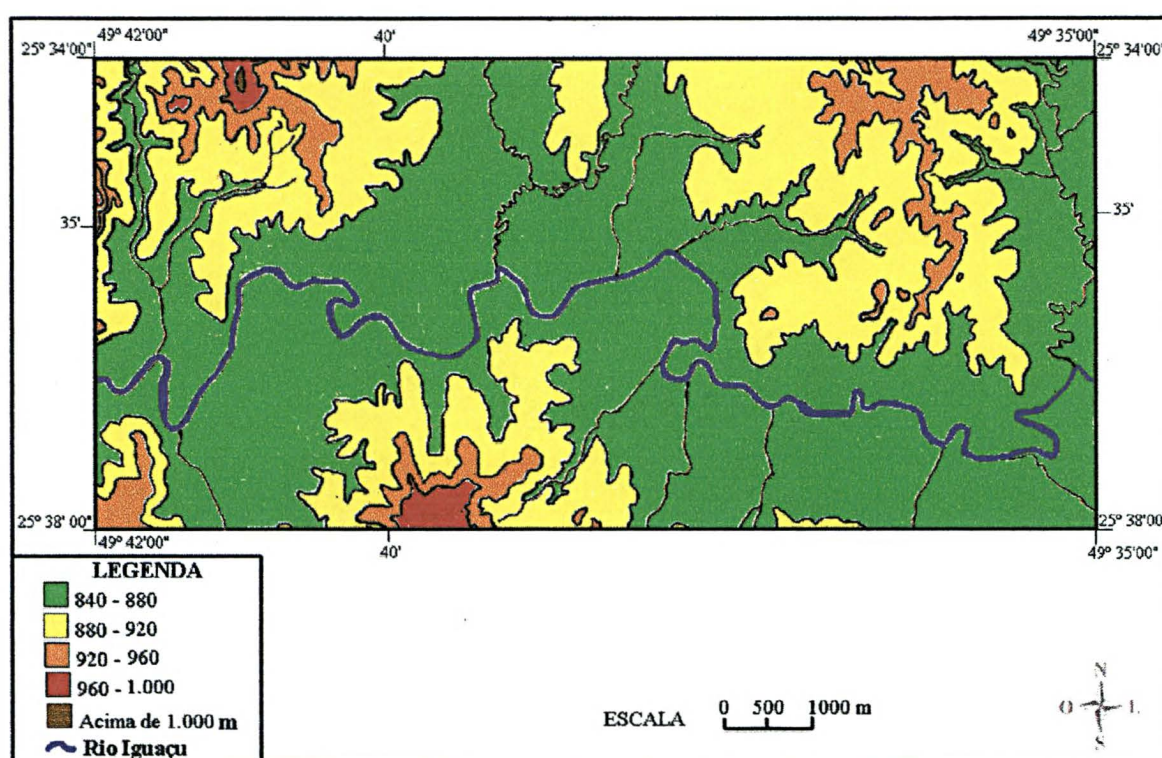


Figura 06: Hipsometria da área de estudo

Fonte: Adaptado da folha geológica de Contenda, 1966.

Os trabalhos de campo realizados no contexto da área investigada possibilitaram identificar as seguintes formas de relevo: degraus escarpados, morrotes e espigões, colinas dissecadas, terraço fluvial e planície aluvial. Associadas a estas feições, aparecem formações erosivas e deposicionais típicas de domínio fluvial, tais como erosão em

barranca fluvial, além de morfologias de topo aplainado e escarpas erosivas conforme ilustra a Figura 07.

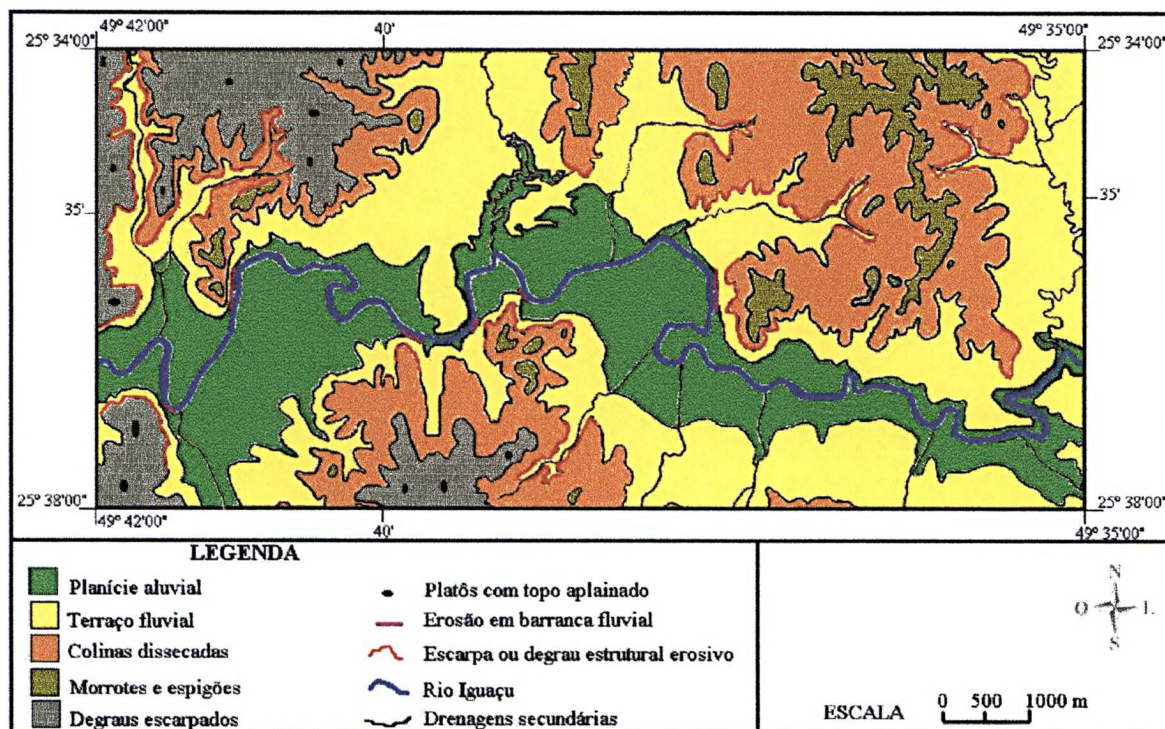


Figura 07: Compartimentação geomorfológica da área de estudo.

Fonte: Adaptado da Folha Geológica de Contenda, 1966.

O compartimento geomorfológico de platôs estruturais com degraus escarpados é formado por rochas areníticas do Grupo Paraná e Grupo Itararé. São feições típicas de escarpas, caracterizado por erosão remontante com recuo paralelo das vertentes, processada em camadas litológicas tenras. Trata-se de um relevo com vertentes íngremes em que se verifica o alargamento do vale fluvial do rio Iguaçu. O front da cuesta é representado por um capeamento resistente de arenito (CASSETI, 1994). Exibem platôs com topo aplainado, em cotas superiores a 960m de altitude (Figura 06), resultante do acamamento horizontalizado dos litótipos presentes. Aparecem preferencialmente nas porções SW/NW da área estudada (Figura 07).

Os morrotes e espigões são feições de relevo de caráter residual com altitudes inferiores a 960m (Figura 06), associadas à evolução do relevo como testemunhos do processo generalizado de pediplanação de terrenos esculpidos em rochas Pré Cambrianas, principalmente migmatitos e quartzitos. Ocupam a porção NE da região (Figura 07).

Sustentam áreas elevadas de cristas topográficas e morros arredondados de restrita expressão geográfica, com interflúvios curtos e de considerável amplitude topográfica. Os diques de diabásio e os falhamentos deste compartimento geomorfológico controlam o nível de dissecação das vertentes, podendo gerar pontos de ruptura nas rochas, formando estruturas isoladas, como por exemplo os morrotes ou feições alongadas, reconhecidas como espigões.

A dissecação do relevo produziu feições de colinas, distribuídas de forma homogênea na área alvo (Figura 07). Correspondem a patamares estruturais erosivos onde se estabeleceram os rios de 2ª ordem, tributários da drenagem principal do rio Iguaçu. São terrenos esculpidos por exumação radial dos migmatitos, interpretados como níveis de relevo elaborados a partir da erosão por dissecação fluvial, formando patamares ou degraus em cotas altimétricas distintas, cujos contatos são estabelecidos por espessos mantos de alteração que localmente suavizam a inclinação das vertentes.

O domínio de colinas dissecadas articula-se, em um nível topográfico inferior, a aproximadamente 880m de altitude com os sedimentos de várzea, localizados no compartimento do terraço fluvial e da planície aluvial do rio Iguaçu e, num nível superior, a 920 m, com as feições de morrotes, espigões e degraus escarpados que sustentam o topo dos interflúvios (Figura 06).

De acordo com a Figura 06, o compartimento de colinas dissecadas apresenta uma maior amplitude de relevo do que o patamar inferior de relevo marginal à calha do rio Iguaçu. Consequentemente, ocorre o aumento na velocidade de escoamento superficial da água da chuva pela maior inclinação das vertentes das colinas dissecadas, provocando a remoção dos sedimentos de seu estrato superior e posterior deposição em patamares inferiores, notadamente na área de contato com a drenagem, na região do terraço fluvial e da planície aluvial do rio Iguaçu, formando extensos depósitos de colúvio - alúvio.

As colinas dissecadas correspondem a interflúvios que separam os afluentes do rio Iguaçu, apresentando uma acentuada dissecação de vales, denunciada pela presença de uma drenagem de baixa a média densidade, mostrando maiores declividades nos locais onde ocorre o estreitamento do domínio geomorfológico do terraço fluvial.

Distinguem-se duas feições geomorfológicas típicas no domínio fluvial da área de estudo: o terraço fluvial e a planície aluvial (Figura 07).

O terraço fluvial situa-se na área correspondente ao leito maior excepcional, terrenos inundáveis somente em épocas de enchente (TRICART, 1966 apud GUERRA, 1994).

CHRISTOFOLETTI (1980) define o termo terraço fluvial como sendo antigas planícies de inundação abandonadas, morfologicamente aparecendo como patamares aplainados, de largura variável e limitados por uma escarpa em direção ao curso d'água, geralmente compostos por materiais relacionados à antiga planície de inundação.

De acordo com MOURA apud GUERRA (1994), o terraço fluvial representa o principal compartimento geomorfológico que serve como indicador cronológico para o estabelecimento da estratigrafia de corpos aluviais de ocorrência espacial fragmentária. Desta forma, o estudo dos episódios de sedimentação na calha fluvial do rio Iguaçu revelam sua importância no que se refere à geologia econômica enquanto área – fonte de areia para uso na construção civil como também para a datação e até mesmo inferência do provável paleoambiente, informações imprescindíveis para o planejamento e ocupação racional do espaço.

No contexto da área investigada, o terraço fluvial é reconhecido como um compartimento geomorfológico posicionado em regiões de depressões varzeanas, embutidas ao longo dos principais canais de drenagem da região, interdigitando-se, em um nível topográfico superior, com o embasamento cristalino, que foi modelado em feições de colinas dissecadas e, num patamar inferior, com os depósitos da calha fluvial, onde fica a planície aluvial do rio Iguaçu.

O terraço apresenta largura variável, dependendo da litologia predominante. Em áreas onde a drenagem intercepta litologias friáveis, as feições de terraço apresentam-se mais conspícuas e, por outro lado, em rochas resistentes, o terraço se restringe a uma pequena moldura que envolve os rios de segunda ordem, como por exemplo na porção oeste da área de estudo, onde a drenagem corta arenitos gerando boqueirões e escarpas abruptas (Figura 07).

O terraço fluvial apresenta características singulares do ponto de vista das formas de relevo, destacando-se em meio ao restante da paisagem, topograficamente situado em cotas que oscilam em torno de 840 a 880m de altitude (Figura 06), constituindo uma depressão,

reconhecida principalmente pela presença de terrenos encharcados em grande parte de sua extensão.

A planície aluvial é uma feição de relevo de agradação continental, área tipicamente deposicional que funciona como uma espécie de “reservatório” de sedimentos arenosos provenientes da erosão dos demais compartimentos geomorfológicos (Figura 07).

A região investigada apresenta uma extensa área de várzea em domínio aluvial onde o material produzido a partir da erosão das vertentes tende a ocupar as áreas depressionárias, provocando a elevação do nível de base por pedimentação da área colmatada (Figura 07). A planície aluvial do rio Iguaçu encontra-se em cotas inferiores a 880m de altitude e apresenta uma largura expressiva, principalmente em seu trecho meandrante (Figura 06). Nela se processa a atividade de exploração de areia utilizada como agregado para construção civil para a região da Grande Curitiba.

Atesta-se a presença de cavas no terraço fluvial do rio Iguaçu, resultantes da exploração de areia para construção civil. Vale ressaltar que, em épocas de cheia, o rio Iguaçu coaduna com as cavas, gerando graves problemas em termos de condições de operação de lavra e desenvolvimento da atividade de mineração de areia. Tais aspectos serão discutidos com maior detalhe no capítulo 06.

A evolução geológico/geomorfológica do Primeiro Planalto paranaense tem suas origens a partir da formação da Plataforma Austro – Brasília, através de deformações tectônicas que atuaram principalmente durante o Mesozóico – Cenozóico associadas a mudanças paleoclimáticas.

Após lenta epirogênese negativa, formou-se a Bacia de sedimentação do Paraná, no Devoniano Inferior. A Plataforma sofreu emersão com regressão marinha e conseqüente denudação que se estendeu até o Carbonífero Superior. Condições frias geraram extensos *inlandsis* que recobriram a Plataforma Paleozóica, tornando-a totalmente erodida e aplainada, onde se depositou a Série Tubarão, contendo tilitos e arenitos (IBGE, 1977).

A sedimentação Paleozóica inumou a superfície aplainada elaborada em estruturas Pré Cambrianas que, posteriormente, no Devoniano, funcionou como uma espécie de superfície fóssil ou paleoplano, após extensiva transgressão marinha, que retrabalhou a antiga superfície. No final do Cretáceo, o edifício estrutural regional paranaense esteve aplainado, existindo terrenos Pré Cambrianos mais elevados que os sedimentos Paleozóicos

e Mesozóicos na área do Primeiro Planalto. Após esta fase, a denudação passa a ser mais conspícua nas margens dos sedimentos Devonianos, salientando escarpas entre os sedimentos Furnas e rochas pré cambrianas. Esta denudação marginal subsequente ultrapassa a base do Furnas, fazendo recuar a escarpa através de progressiva eversão que culmina, já no Terciário, por elaborar uma extensa superfície de aplainamento, resultando na Superfície do Alto Iguaçu. Nela se instalou a rede de drenagem regional, representada pelo rio Iguaçu e seus afluentes. O recuo da escarpa do arenito Furnas gerou grande quantidade de depósitos superficiais de granulometria variada, dentre os quais as areias para uso na construção civil que aparecem na região de Balsa Nova e Lapa. Posteriormente, tais sedimentos foram retrabalhados em ambiente fluvial durante o Holoceno (BIGARELLA & SALAMUNI, 1962).

OLIVEIRA & LEONARDOS (1943), SOARES & LANDIM (1976) e SCHOBENHAUS et al. (1984), já mencionavam em seus trabalhos que a existência da Bacia Sedimentar de Curitiba onde se insere a área alvo de estudo estava relacionada ao acúmulo de aluviões antigos do rio Iguaçu, cujos depósitos arenosos estão sendo presentemente explorados na Região Metropolitana de Curitiba.

BIGARELLA & SALAMUNI (op cit.) concluíram que a Bacia Sedimentar de Curitiba é preenchida por duas formações sedimentares, cujos principais constituintes são argilitos e arcósios. O conjunto de seus sedimentos são conhecidos como Formação Guabirota, enquanto que, os mais recentes, constituem depósitos de planície de inundação e de baixos terraços datados do Cenozóico Superior.

BATOLLA JR. et al. (1977) e CANALI & MURATORI (1981) identificaram 06 superfícies aplainadas geradas no passado geológico no contexto da área investigada que, na atualidade, funcionam como fulcro deposicional das litologias arenosas utilizadas no setor de construção civil da RMC (Figura 08):

1. Superfície fóssil pré devoniana ou superfície fóssil enterrada por sedimentos basais da Formação Furnas;
2. Superfície Purunã de caráter interplanáltico;
3. Superfície do Alto Iguaçu;
4. Superfície Pré Formação Guabirota;
5. Superfície de Curitiba, gerada a partir do reafeiçoamento da superfície Alto Iguaçu,e;

6. Superfície atual ou zona de eversão moderna onde se encontram os depósitos de areia de baixos terraços e de várzea recentes do rio Iguaçu e seus afluentes.

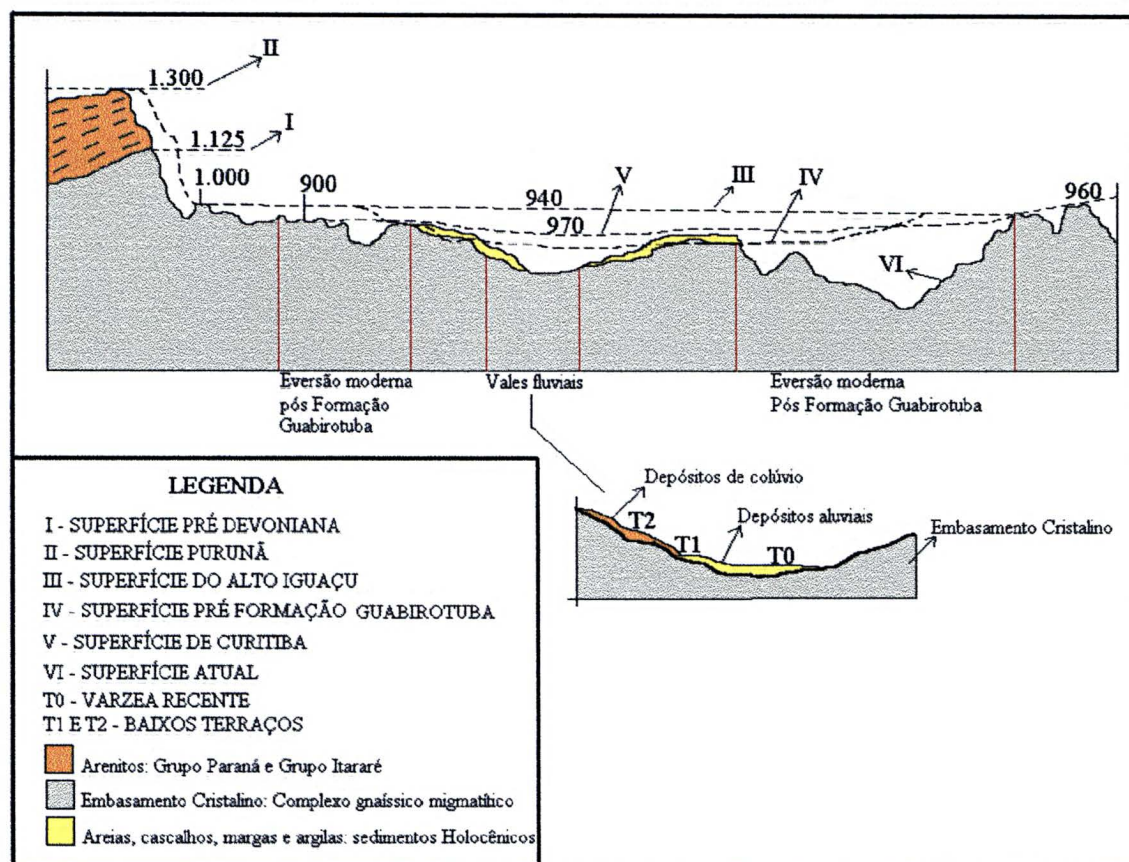


Figura 08: Superfícies de Erosão do Primeiro e Segundo Planalto Paranaense

Fonte: Adaptado de BATOLLA JR. et al. (1977) e CANALI & MURATORI (1981).

Recentemente, estudos geomorfológicos realizados por BIGARELLA et al. (1994) mostram que no modelado sul brasileiro, região do Primeiro Planalto paranaense, existem 03 superfícies de erosão que igualmente correspondem às unidades anteriormente identificadas por BATOLLA JR. (1977) e CANALI & MURATORI (1981) denominadas pd3, pd2 e pd1, dois níveis de pedimentos p2 e p1 além de um domínio de terraços tpd1, tp2, tp1, tcl e tvo (Figura 08).

Os compartimentos pd3, pd2 e pd1 seriam superfícies aplainadas, resultantes da dissecação dos planaltos e correspondem às superfícies I, II e III da Figura 08 respectivamente.

Em Pd1 de Idade Pliocênica Superior ao Pleistocênico Inferior, conhecida como superfície de Curitiba, aparecem altitudes entre 950 a 1.000 m, responsável pela formação

de depósitos correlativos dos sedimentos superiores da Formação Guabirotuba. Nesta superfície aparecem níveis de pedimentação que formam ombreiras em razão da conspícua denudação dos planaltos. São caracterizados por altos terraços que formam diferentes níveis pedimentares que se inclinam em direção aos vales principais e, por fim, no plano aluvial, aparecem dois níveis de baixo terraço onde temos a presença de cascalheiras (fase de semi aridez) interdigitando-se com os terraços de várzea, exibindo suaves rampas de colúvio – alúvio resultantes de processos de solifluxão representados na Figura 08 pelos níveis T1 e T2 (baixos terraços).

O compartimento Pd2 de Idade Pliocênica inferior é conhecido como superfície do Alto Iguaçu, com altitudes variando entre 1.000 e 1.100 m correspondendo aos antigos restos de planaltos dissecados. É considerada uma das prováveis áreas fontes dos sedimentos do nível inferior da Formação Guabirotuba. Abaixo da superfície Alto Iguaçu encontra-se uma região de vales fluviais e de terraços em alvéolos de diferentes amplitudes, calhas aluviais largas e planícies alveolares reduzidas nas bordas da bacia que abrigam potentes depósitos lenticulares de areia, os quais estão sendo presentemente explorados na região do alto curso do rio Iguaçu.

Os depósitos de areia da região do alto curso do rio Iguaçu estudados nesta dissertação de mestrado encontram-se na Superfície atual ou Zona de eversão moderna dos vales fluviais representado pelas unidades T0, T1 e T2, conforme mostra a Figura 08.

Embutidos nas superfícies de Curitiba, do Alto Iguaçu e do Purunã aparecem os níveis de terraços, mantidos por depósitos de cascalho em paleocanais de drenagem.

T1 e T2 (Figura 08) são depósitos de cascalheira dos baixos terraços com espessura de um metro ou mais, formado por seixos de quartzo e quartzito.

A seqüência de eventos para a formação da várzea atual do rio Iguaçu (T 0) proposta por CANALI & MURATORI (1981) seria a seguinte:

1. Elaboração do assoalho da várzea sob condições de alta energia;
2. Deposição de cascalho contemporaneamente à degradação dos fundos de vale;
3. Instalação de canais anastomosados, com a deposição de sedimentos arenosos.
Drenagem intermitente, gerando canais anastomosados em ambiente de alta energia;
4. Encaixamento da rede de drenagem, provocando erosão de parte dos depósitos dos canais anastomosados depositados pelos rios intermitentes;

5. Preenchimento do canal com sedimentos finos siltico argilosos em ambiente de baixa energia, entretanto, diferente do atual; e,
6. Coluviação de várias fases a partir da época de deposição das areias dos canais anastomosados.

Atualmente, a paisagem estudada apresenta colinas amplas, com topos de altitudes em torno e 960 m que se articulam com os talwegues a 870m de altitude na planície aluvial do rio Iguaçu em uma sucessão de patamares suaves (rampas de colúvio – alúvio), onde predominam declividades inferiores a 6% (CANALI & MURATORI, 1981).

No domínio geomorfológico fluvial do rio Iguaçu (terraços e planícies aluviais), o material de cobertura predominante são depósitos de areia que atualmente estão sendo explotados para o abastecimento do setor de construção civil da RMC.

Outras informações relativas ao ambiente fluvial serão apresentadas no capítulo 4.5. A tabela 05 exibe um resumo da geomorfologia presente na área investigada.

Tabela 05: Unidades geomorfológicas, escalas e características das áreas.

Unidades Geomorfológicas	Escalas	Características da área	Localização
Primeiro planalto paranaense	Regional	Planalto de Curitiba e escarpas de serra (Serra de São Luiz do Purunã).	Bacia de Curitiba
Primeiro Planalto Sul – superfície Alto Iguaçu	Sub-Regional	Colinas amplas e médias; morrotes alongados e espigões interdigitados com vales dissecados.	Sudoeste da Bacia de Curitiba
Relevos de agradação continental	Local	Colinas amplas, terraços fluviais e planícies aluviais onde se encontram os depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu.	Vale dos principais rios da região
Planícies aluviais	Topológica	Domínio de planície aluvial com terrenos sujeitos ou não à inundações.	Vale do rio Iguaçu

4.3. CONTEXTO PEDOLÓGICO

Para RAIJ (1991), solo é a parte superficial intemperizada não consolidada da crosta terrestre, contendo matéria orgânica e seres vivos. A cobertura pedológica representa o suporte natural para o desenvolvimento da biota local e a sua formação está condicionada a interação entre os diversos elementos que compõe a paisagem a partir do intemperismo das rochas.

Na Região Metropolitana de Curitiba onde se encontra a área de estudos, a COMEC (1984) reconheceu as seguintes classes de solos (Figura 09): hidromórficos/gleizados, indiscriminados, solos orgânicos, Latossolo Vermelho – Amarelo, Latossolo Vermelho Escuro, Podzólico Vermelho Amarelo, cambissolo e solo litólico.

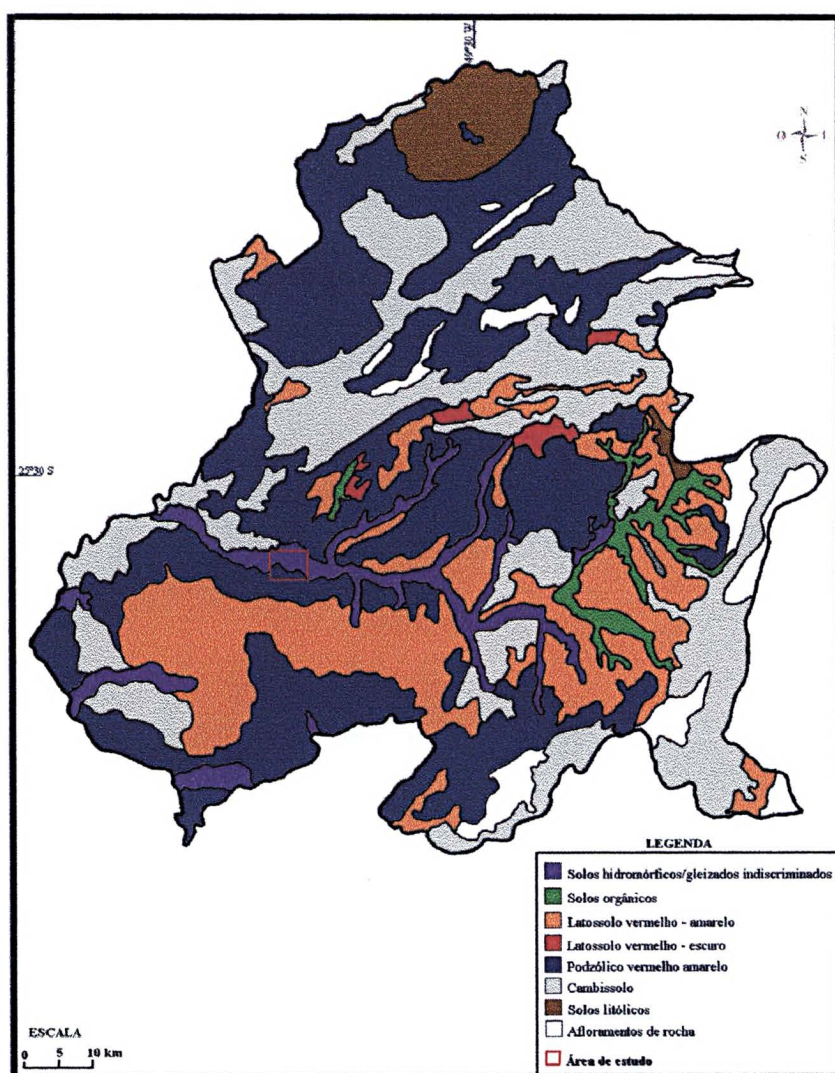


Figura 09: Compartimentação pedológica da Região Metropolitana de Curitiba

Fonte: Adaptado da COMEC, 1984.

Apresenta-se uma breve descrição dos principais tipos de solos que aparecem na área de estudo:

A. Solos hidromórficos/gleizados indiscriminados

No domínio do terraço fluvial, a cobertura pedológica predominante é o solo hidromórfico. Para LEPSCH (1977), solos hidromórficos são aqueles que se desenvolvem sob influência do lençol freático alto, em condições de saturação de água, apresentando como principal área de ocorrência as regiões de clima úmido e de topografia plana, geralmente adjacentes aos rios ou lagos ou em depressões fechadas.

Na área alvo, o solo hidromórfico encontra-se no compartimento do terraço fluvial da rede de drenagem principal representada pelo rio Iguaçu e seus afluentes. Aparecem sob a forma de faixas contínuas que chegam a atingir 1,5 km de largura, embutido entre o domínio da planície aluvial e colinas dissecadas (Figura 09). Constituem uma sub - ordem de solos intrazonais. Como características morfológicas destaca-se a grande influência do lençol freático à superfície ou muito próximo dela condicionado pelo relevo praticamente plano. Apresenta horizontes superficiais com acúmulo de matéria orgânica (gleização) nos horizontes sub-superficiais pela atuação de processos de oxi – redução em condições de flutuação constante do lençol freático (THEODOROVICZ et al., 1998).

As atividades econômicas que mais se desenvolvem no terraço fluvial do ponto de vista da utilização do solo são a pecuária, agricultura de subsistência, pesca e a lavra de areia.

O terraço fluvial está recoberto por um solo hidromórfico, de alto conteúdo argiloso, com espessura média variável entre 0,5 a 01 m. Sotoposto a este capeamento, encontram-se lentes de areia dispostas em camadas centimétricas, cujos depósitos estão sendo presentemente explorados na região do alto curso do rio Iguaçu, municípios de Lapa e Balsa Nova, área objeto de estudo desta dissertação de mestrado.

B. Solos orgânicos

Os solos orgânicos possuem horizonte superficial normalmente com mais de 30cm de espessura, cor preta, com elevados teores de carbono, em que os componentes principais são resíduos de vegetais. O horizonte A (epipedon hístico) tem textura orgânica (pastosa),

estrutura granular fracamente desenvolvida, boa plasticidade, sendo ligeiramente pegajoso como solo molhado. As camadas seguintes a este horizonte são formadas por resíduos orgânicos vegetais em diversos estágios de decomposição, comumente reconhecidos como turfeiras que apresentam coloração variável e estrutura maciça pouco coerente (RAIJ, 1991).

Para THEODOROVICZ et al. (1998), nas áreas de cabeceiras do rio Iguaçu e em alguns de seus afluentes ocorrem, sob horizonte hístico, depósitos de areia. Solos desta classe ocupam extensas áreas nas proximidades de Curitiba, nas várzeas em planícies de inundação dos principais rios da região (Figura 09).

C. Podzólico Vermelho Amarelo

Os solos deste tipo apresentam horizonte B textural, não hidromórfico e com argila de atividade baixa. Suas espessuras variam entre 01 e 02 m, são ácidos, de baixa saturação de bases, porosos, bem drenados, sendo desenvolvidos a partir de rochas Pré-Cambrianas (migmatitos, granitos, quartzitos e filitos) e do Devoniano Inferior (arenitos). Recobrem extensas áreas da Região Metropolitana de Curitiba de relevo suavemente ondulado onde predominam feições de colinas dissecadas, estabelecendo contato com solos do tipo hidromórfico que aparecem nos vales fluviais dos rios Iguaçu e Ribeira (Figura 09).

D. Cambissolo

De acordo com LEPSCH (1977), os solos aluviais se desenvolvem sobre sedimentos recentes de origem fluvial, apresentando camadas alternadas e classes texturais distintas, onde o horizonte A₁ se encontra assentado diretamente no horizonte C, composto por extratos de deposições sedimentares.

Os trabalhos de campo realizados na planície aluvial do alto curso do rio Iguaçu, mais precisamente no trecho que compreende a porção sul da cidade de Balsa Nova, permitiram a identificação de cambissolo típico com cerca de 01 a 02 metros de espessura, constituído por uma matriz arenosa a siltica. O perfil analisado exibe um horizonte A com 30cm de espessura contendo matéria orgânica em sua porção superior, restrita presença de pequenos grânulos de feldspato aleatoriamente dispersos no perfil de alteração, apresentando também variações conspícuas na coloração, gradando do marrom escuro na

porção superior à marrom claro na porção basal. Os processos de erosão e deposição fluvial originaram verdadeiras “praias aluviais” ou bancos aluviais de areia, que aparecem com maior frequência em áreas de curvaturas dos meandros do rio Iguaçu.

De modo geral, a cobertura pedológica no domínio da planície aluvial exibe uma textura arenosa com pouca variação granulométrica. Trata-se de solos geneticamente associados ao ambiente fluvial. Aparecem no contexto da área investigada em faixas contínuas de ampla distribuição geográfica como mostra a Figura 09. A Tabela 06 mostra um resumo do contexto pedológico para a área estudada.

Tabela 06: Unidades pedológicas, escalas e características das áreas

Unidades Pedológicas	Escalas	Características da área	Localização
Solos podzólicos e cambissolos, litossolos e afloramentos de rochas.	Regional	Colinas médias, morros e espigões alongados com intensa atividade agrícola e áreas de exposição de rocha com solos rasos, impróprios para a atividade agrícola.	Bacia de Curitiba.
Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo.	Sub-Regional	Colinas amplas e planície de inundação fluvial com uso do solo adequado à pesca e agricultura.	Sudoeste da Bacia de Curitiba.
Solo Podzólico Vermelho Amarelo e solos orgânicos.	Local	Áreas de várzeas sujeitas a inundações periódicas com má drenagem e restrita utilização agrícola.	Vale dos principais rios da região.
Solos hidromórficos/gleizados e solos aluviais.	Topológica	Coberturas recentes, uso do solo condicionado à pecuária e atividade de mineração de areia.	Vale do rio Iguaçu (depósitos de areia).

4.4. CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL

A vegetação é a expressão visual da interação entre o clima, altitude e latitude. A cobertura vegetal original do Estado do Paraná constava das seguintes formações florísticas: mata pluvial tropical/subtropical, mata de araucária, campos limpos e campos cerrados, vegetação de várzeas e pântanos, vegetação de praias, ilhas, restingas e vegetação de regiões altas de serras e área de baías com faixas de mangues (MAACK, 1981 e CIGOLINI et al., 1998).

De acordo com VALVERDE (1992) ocorrem basicamente dois tipos de vegetação na Região Metropolitana de Curitiba: a cultivada (incluindo reflorestamentos homogêneos) e a natural. O tipo de vegetação predominante é a cultivada, impulsionada basicamente pela prática agrícola e pelos reflorestamentos homogêneos de eucalipto ou pinus.

Secundariamente, ocorrem pequenas porções de mata natural de porte predominantemente arbóreo, em geral com indivíduos de altura superior a 5m e arbustos densos existentes em campos e searas (áreas de cultivo abandonadas).

No Estado do Paraná, mais precisamente no contexto da Região Metropolitana de Curitiba, estudos realizados pela COMEC (1984) possibilitaram a identificação dos seguintes tipos de vegetação a partir de critérios de densidade de cobertura vegetal e a atuação antrópica (Figura 10): floresta tropical e subtropical com densidade de cobertura – 95 a 100%; floresta tropical e subtropical com densidade de cobertura – 75 a 95%; floresta tropical e subtropical com densidade de cobertura – 50 a 75%, matas com predomínio de bracatinga; capoeira e macega; matas implantadas e áreas densamente antropizadas, com cobertura vegetal praticamente inexistente.

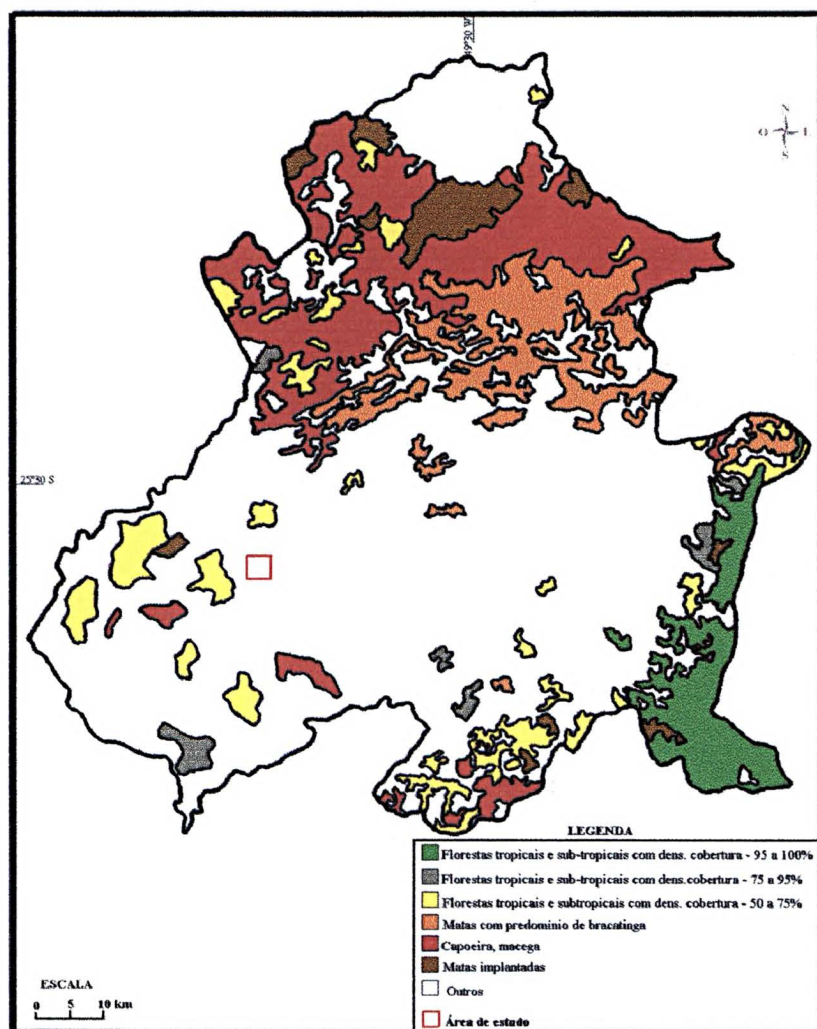


Figura 10: Distribuição da cobertura vegetal na Região Metropolitana de Curitiba.

Fonte: Adaptado da COMEC, 1984.

Apresenta-se uma breve descrição dos principais tipos de coberturas vegetais encontradas na área de estudo.

A. Floresta tropical e subtropical com densidade de cobertura – 75 a 95%

Vegetação do tipo floresta subtropical (capões isolados) correspondente a uma subclasse de floresta araucária já em vias de alteração antrópica, apresentando menor densidade de cobertura vegetal do que as florestas preservadas.

Situa-se na base das vertentes em contato com áreas agrícolas ou de uso urbano e também áreas escarpadas, geralmente interdigitadas com vegetação do tipo gramínea que aparece nos terraços fluviais, exibindo porte mais denso em locais de maior suprimento de água. Apresenta restrita ocorrência no contexto da região investigada, exibindo fragmentos ou manchas de vegetação isolada de pequena dimensão (Figura 10).

B. Floresta tropical e subtropical com densidade de cobertura – 50 a 75%

Floresta encontrada em áreas de colinas dissecadas, podendo ser caracterizada como um tipo semi aberto, com baixa densidade de cobertura vegetal, localmente modificada de seu estágio original devido à intensa atuação antrópica.

Distribui-se de modo irregular na área de estudo nas porções S/SW da região, correspondendo a remanescentes de florestas subtropicais originais que, no passado, recobriam extensas áreas da Grande Curitiba (Figura 10).

C. Outros (áreas altamente antropizadas, com cobertura vegetal praticamente inexistente)

Em contraste com a vegetação de florestas subtropicais e de araucária aparecem zonas de culturas onde se dá o completo desaparecimento das associações florísticas naturais, correspondente à zona das culturas de Curitiba onde aparecem também áreas de pastagens.

De modo bastante localizado, encontramos vegetação típica de campo cerrado e áreas com predomínio de erva mate, distribuídas na região de mata secundária. Com exceção da zona de Curitiba, predominantemente urbana, as demais áreas colonizadas do Primeiro Planalto estão sob intenso uso agrícola em sistema de roça com pouca rotação de cultura (BATOLLA JR. et al., 1977).

A vegetação pantanosa aparece em vastas áreas de várzea do rio Iguaçu com seus meandros isolados. Encontram-se revestidas por espécies de gramíneas do brejo. Nas regiões com vegetação arbórea, não incluindo a faixa de matas e arbustos ciliares, aparecem pequenas áreas de campos limpos e pântanos isolados (MAACK, 1981).

Os campos, muito freqüentes no Primeiro Planalto, correspondem a uma ocorrência vegetal ligada à presença de topografia suave, apresentando uma cobertura herbácea contínua, que pode ser entremeada de arbustos e sub-arbustos isolados ou em tufos. Os campos do planalto meridional são encontrados nos três estados sulinos, sendo conhecidos por denominações locais, como no caso, os Campos de Curitiba como esclarecem THEODOROVICZ et al. (1998).

No Paraná, a vegetação de campos apresenta dispersão generalizada, sem constituírem uma área homogênea. São encontrados na superfície elevada do relevo cristalino no Primeiro Planalto bem como no Segundo e Terceiro Planalto. Os campos de planalto recobrem áreas de topografia suavemente ondulada ao longo dos vales, nas cabeceiras dos rios e nas depressões, refletindo áreas de maior umidade. Nestes locais surgem pequenos capões isolados de mata galeria.

O domínio geomorfológico do terraço fluvial do rio Iguaçu apresenta terrenos rebaixados e embaciamentos onde a tipologia da cobertura vegetal sofre influência direta das condições e características deste ambiente. A profundidade do lençol freático no terraço fluvial oscila de acordo com a topografia, a permeabilidade das rochas e também em decorrência das variações climáticas estacionais. O nível hidrostático acompanha a topografia do terraço fluvial e praticamente tangencia a superfície do terreno. Deste modo, a formação de brejos com lençol subterrâneo aflorante ocorre a partir da sua interseção com a superfície do terraço fluvial do rio Iguaçu, permitindo o aporte de água constante durante praticamente toda a época do ano.

A vegetação de campo limpo, com estratos arbóreos e arbustivos de pequeno porte, ocupa áreas próximas às cavas de exploração de areia no terraço fluvial do rio Iguaçu. Localmente, tal tipo de cobertura vegetal interdigita-se com as pastagens no nível topográfico superior do terraço, recobrando uma pequena superfície das colinas dissecadas, incluindo a área de contato com o terraço fluvial do rio Iguaçu.

Em um nível topográfico inferior, os campos estabelecem contatos nítidos com a mata galeria que é constituído por espécies arbóreas de médio porte que aparecem de forma descontínua, bordejando o canal principal do rio Iguaçu. Atesta-se a presença de pilhas de rejeito de argila resultantes do processo de lavra da areia, formando verdadeiros diques que ocupam áreas marginais à calha do rio Iguaçu. A cobertura vegetal de mata galeria presente na planície aluvial do rio Iguaçu encontra-se bastante descaracterizada em relação às suas condições originais, sobretudo em virtude da atuação antrópica.

De modo geral, a cobertura vegetal encontrada sobre os depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu caracteriza-se por uma vegetação gramínea que se desenvolve sobre solos argilosos. A Tabela 07 expõe um resumo da distribuição da cobertura vegetal para a região estudada.

Tabela 07: Unidades fitoecológicas, escalas e características das áreas.

Unidades Fitoecológicas	Escalas	Características das áreas	Localização
Floresta subtropical e reflorestamento de pinus.	Regional	Cobertura vegetal natural remanescente e atividades agrícolas intensas.	Bacia de Curitiba.
Mata de Araucária e campo limpo graminoso.	Sub-Regional	Atividades agrícolas intensas, contatos entre reflorestamento e áreas remanescentes de floresta araucária.	Sudoeste da Bacia de Curitiba.
Remanescentes de mata de araucária, culturas de soja e milho e vegetação de várzea.	Local	Predomínio de atividade agrícola em contato com manchas isoladas de capoeira e áreas restritas de mata galeria ao longo dos canais de drenagem.	Vale dos principais rios da região.
Vegetação campestre, estratos arbóreos gramíneo – lenhosos e mata galeria.	Topológica	Terrenos periodicamente sujeito à inundações, presença de macegas, uso e ocupação do solo condicionado à pesca e mineração de areia.	Vale do rio Iguaçu (depósitos de areia).

4.5. SEDIMENTAÇÃO EM AMBIENTE FLUVIAL

Rios são cursos naturais de água continental com canais definidos e fluxo permanente ou sazonal para um oceano, lago ou outro rio. Em função de sua capacidade de erosão, transporte e deposição, os rios representam um dos mais importantes agentes de transformação da paisagem (LEINZ, 1980 e FAIRCHILD et. al., 2000).

Na atualidade, os canais fluviais têm sido alvo de inúmeros estudos, principalmente em função da sua crescente importância econômica no que se refere ao aproveitamento de rios para a geração de energia elétrica, transporte, pesca, mineração, agricultura, entre outros. Os estudos da composição e dos estágios de deposição dos sedimentos associados à calha fluvial revelam sua importância no âmbito da pesquisa voltada para exploração e lavra de areias utilizadas na construção civil. O contexto fluvial é um ambiente geologicamente dinâmico e sua metalogenia encerra depósitos de minerais não metálicos de apreciável interesse econômico (SOUZA FILHO, 1992).

Perante o exposto, apresentam-se algumas informações referentes à dinâmica fluvial e depósitos correlativos no contexto da área investigada.

4.5.1. Considerações sobre o sistema hidrográfico do rio Iguaçu/PR

Os rios que compõem o maior complexo hidrográfico do Estado do Paraná correm para o interior do continente e pertencem à região de captação do grande sistema da Bacia Paraná, incluída na bacia do Prata, a qual apresenta uma superfície de aproximadamente 186.321 km² enquanto que a bacia hidrográfica Atlântica ou do Leste, com apenas 14.674 km², deságua diretamente no Oceano Atlântico, através do vale do Ribeira, formada por rios que têm suas nascentes na Serra do Mar que cruzam a planície litorânea (MAACK, 1981). O rio Iguaçu é integrante do complexo do sistema do rio Paraná.

O rio Iguaçu abrange a maior Bacia Hidrográfica do Estado do Paraná, com cerca de 57.329 km², incluindo os afluentes da margem catarinense até União da Vitória. Considerando-se estes, acrescenta-se aproximadamente 13.470 km², o que perfaz um total de 70.800 km². A extensão aproximada do rio Iguaçu é de 1.200 km. É navegável no trecho de 239 km entre Porto Amazonas e União da Vitória, no Paraná, e o seu principal afluente é o rio Negro. Na área da região Metropolitana de Curitiba onde ocorrem os depósitos de areia estudados o rio não se apresenta apto para navegação (THEODOROVICZ et al., 1998).

Os principais afluentes da margem direita do alto curso do rio Iguaçu, entre sua nascente e a localidade de Porto Amazonas são: rios Palmital, Atuba, Barigui, Passaúna, Verde, Itaquí, Tortuoso, das Mortes, dos Papagaios. Em sua margem esquerda, no trecho considerado, possui os seguintes afluentes: rios Piraquara, Itaquí, Pequeno, Miriguava, Cotia, do Maurício, Monjolo e Capivari (Figura 11).

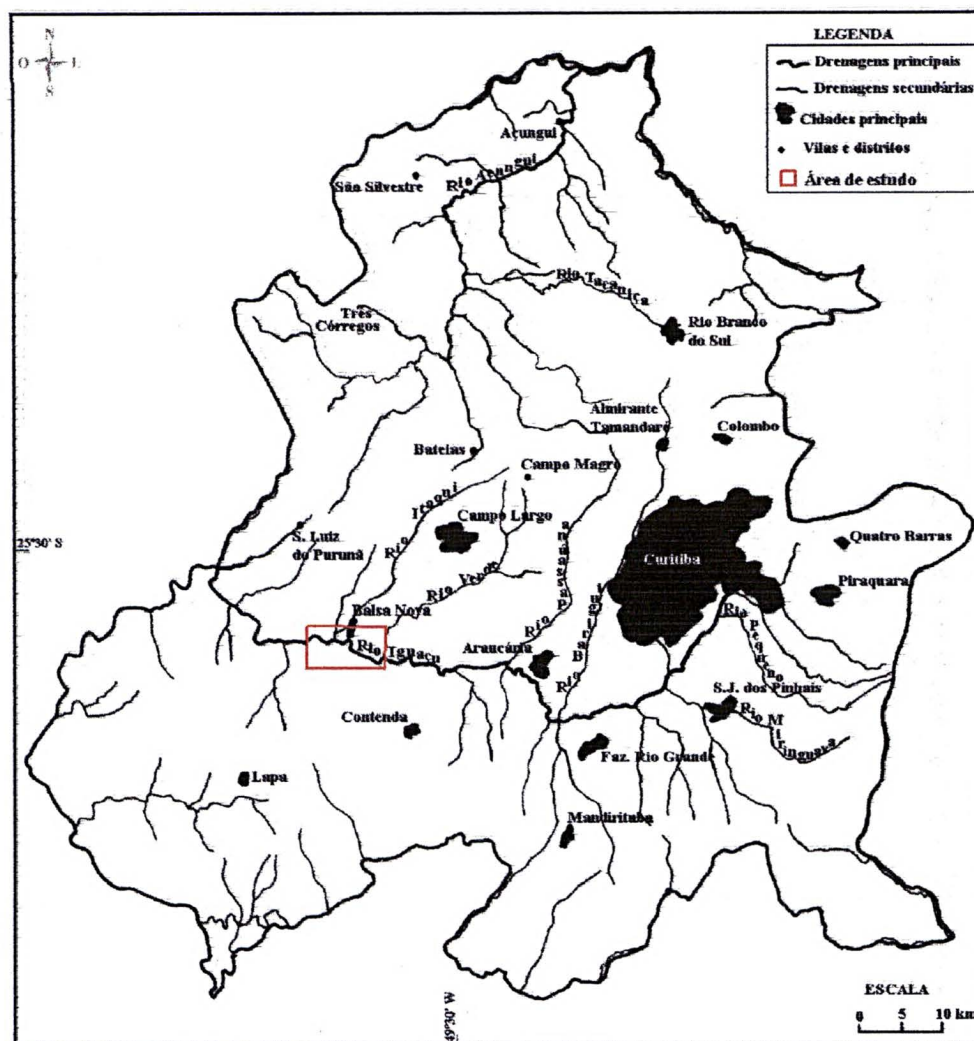


Figura 11 – Rede de drenagem da Região Metropolitana de Curitiba

Fonte: Adaptado da COMEC, 1984.

Enfim, no contexto atual, o rio Iguaçu ocupa uma posição de destaque, figurando entre os maiores e mais importantes canais fluviais do Estado do Paraná, porém, o seu alto curso ainda permanece relativamente desconhecido do ponto de vista geoambiental, merecendo estudos mais detalhados, principalmente no que se refere à geologia e gênese, dinâmica e viabilidade de exploração econômica e ambiental dos depósitos de areia para uso imediato na construção civil. Estes estudos revestem-se de grande importância pois o

aproveitamento de forma sustentada, considerando-se a mitigação de impactos ambientais, permitirá que não sejam afetados o aproveitamento hidroelétrico do médio curso e o desenvolvimento turístico-ambiental no baixo curso representado pelo Parque Iguaçu e as Cataratas do Iguaçu.

4.5.2. Rio Iguaçu: dinâmica hídrica e depósitos correlatos

Para GUERRA & CUNHA (1994), o leito fluvial é o espaço ocupado pelo escoamento das águas. Ao longo do rio, a velocidade e a turbulência das águas são variáveis. Logo abaixo da superfície da água temos a área de maior velocidade, onde qualquer sedimento em suspensão é transportado. Nas áreas marginais à calha fluvial, o transporte de sedimentos fica restrito somente ao material mais fino, principalmente a argila e o silte em função da própria diminuição da velocidade de fluxo das águas. No canal principal do rio Iguaçu verifica-se maior competência para o transporte de material sedimentar, notadamente a areia média e grossa incluindo clastos e cascalhos de pequena dimensão.

As partículas finas silticas e argilosas permanecem em suspensão na água enquanto que a carga de fundo, constituída de partículas maiores, salta e desliza ao longo do leito fluvial (LEINZ, 1980).

No Estado do Paraná, somente o rio Paraná apresenta alguns estudos a respeito do transporte de carga detrítica, destacando-se os de PARDÉ (1952), IBGE (1977) e BRASIL (1979). De acordo com os trabalhos mencionados, os rios que atravessam rochas cristalinas como o rio Iguaçu e seus tributários transportam pouco material fino em suspensão. Por outro lado, a presença de vegetação do tipo mata galeria protege diversos trechos, fato que atenua os processos de erosão normal na calha fluvial. Quanto ao transporte de material em profundidade, os arenitos da borda da escarpa do Segundo Planalto e rochas do embasamento cristalino fornecem abundantes quantidades de seixos e grandes massas de areias constituídas principalmente por grãos de quartzo.

Sob o ponto de vista de sua dinâmica hídrica, pode-se afirmar que o rio Iguaçu é antecedente, tal como o Tibagi, Ivaí e Paranapanema, geologicamente antigo e cruza duas escarpas em vales de ruptura. A linha de queda deste rio, rejuvenescido por meio de levantamentos epirogenéticos, inicia-se na “Escarpa Devoniana” no Segundo Planalto,

perto de Engenheiro Bley, na região de Balsa Nova, cerca de 5 km à jusante da área de estudo, onde existem algumas corredeiras quilométricas no trecho até Porto Amazonas/PR. Em virtude da queda módica de velocidade de fluxo da água que ocorre na região do Primeiro Planalto de Curitiba até Engenheiro Bley, na região de Balsa Nova, o rio Iguaçu desenvolveu meandros de curvatura ampla em seu trecho à montante, com águas antigas e extensas várzeas, exibindo um aspecto senil. Adiante de Porto Amazonas, o curso é novamente compensado e repleto de meandros, até o rompimento da Serra da Boa Esperança ou Serra Geral, que forma a escarpa Mesozóica do Terceiro Planalto (IBGE, 1977).

Com relação à sedimentação fluvial, LEINZ (1980) esclarece que na região de grande competência, predominantemente no trecho do alto curso do rio, efetua-se o transporte de matacões de vários centímetros de diâmetro. Por outro lado, do alto ao médio curso de um rio, observa-se a gradativa diminuição da competência da drenagem e também da granulometria do material depositado em sua calha.

Era de se esperar, portanto, que o rio Iguaçu em seu alto curso, apresentasse uma grande competência de transporte de sedimentos, no entanto, tal dinâmica não ocorre. A dinâmica hídrica da região do alto curso do rio Iguaçu sofreu influência direta de movimentos epirogenéticos de soerguimento do Segundo Planalto do Paraná. Tais movimentos são, em parte, responsáveis pela diminuição de sua competência em transportar material de granulometria grosseira.

A hidrodinâmica fluvial do rio Iguaçu foi sensivelmente modificada, principalmente em termos de velocidade de fluxo das águas. Este processo interrompeu a sequência natural do transporte e de sedimentação de material ao longo do canal fluvial, alterando inclusive a morfologia da calha. Os movimentos epirogenéticos positivos soergueram a Bacia de Curitiba em relação ao nível de base regional, provocando a retomada erosiva na nascente do Iguaçu como também na porção oeste, no limite entre o Primeiro e Segundo Planalto paranaense, região alvo de estudo. Neste local, o rio Iguaçu inicia seu rejuvenescimento gerando escarpas abruptas esculpidas no arenito Furnas.

Os depósitos sedimentares inconsolidados do rio Iguaçu produzidos a partir de processos de erosão fluvial aparecem em diferentes níveis topográficos. Para GUIDICINI (1973) e SOUZA FILHO (1992), o primeiro nível topográfico é o terraço alto e o terraço de meia encosta, uma superfície regular, geralmente associada a presença de lagos, lagoas ou lodaçais periodicamente inundados. O segundo nível topográfico identificado corresponde ao terraço baixo e o último compartimento diz respeito à planície aluvial, que se encontra a aproximadamente 2m acima do nível médio do rio, geralmente exibindo cordões arenosos, diques marginais e paleocanais (Figura 12).

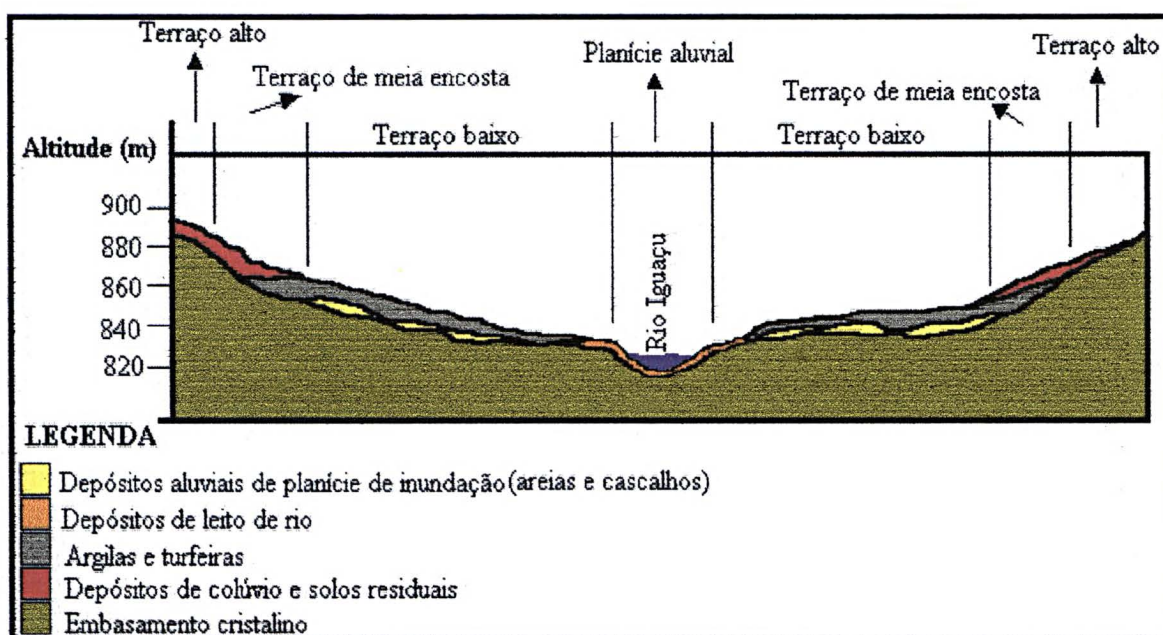


Figura 12: Distribuição dos depósitos de areia no contexto fluvial do rio Iguaçu.

Fonte: adaptado de GUIDICINI (1973) e SOUZA FILHO (1992).

Sob o ponto de vista geomorfológico, os depósitos aluviais no rio Iguaçu alinham-se em dois locais distintos. O primeiro local em que ocorre a deposição de material sedimentar é no vale fluvial propriamente dito, predominantemente de material arenoso mais grosseiro. Já no plano de inundação ocorre a deposição de material mais fino, entre eles a areia, o silte e a argila. O rebaixamento do nível de base do rio Iguaçu provocou o aprofundamento do seu leito com a conseqüente erosão dos seus sedimentos anteriormente depositados. As feições geomorfológicas resultantes, elevadas em relação ao novo nível da água são designadas de terraços fluviais.

Os depósitos de areia estudados encontram-se no terraço fluvial do rio Iguaçu, distribuídos em pacotes sotopostos a camadas de sedimentos finos, predominantemente

argila e silte. A possança para as camadas de argila varia de 01 a 02 m de espessura. Os depósitos de areia apresentam espessuras de 04 a 10 m.

De modo geral, os tipos de depósitos sedimentares encontrados no ambiente fluvial, sua geometria e distribuição geográfica dependem basicamente do padrão morfológico do canal fluvial conforme enfatizam FAIRCHILD et al. (2000). Constatações de campo realizadas na região do alto Iguaçu permitiram identificar os seguinte tipos de padrão morfológico: retilíneo, anastomosado, entrelaçado e meandrante. Em fotografia aérea que recobre a área alvo, escala 1:25000, em um trecho de aproximadamente 10 km do rio Iguaçu, verificou-se a presença alternada em trechos curtos dos padrões supra citados (Figura 13).

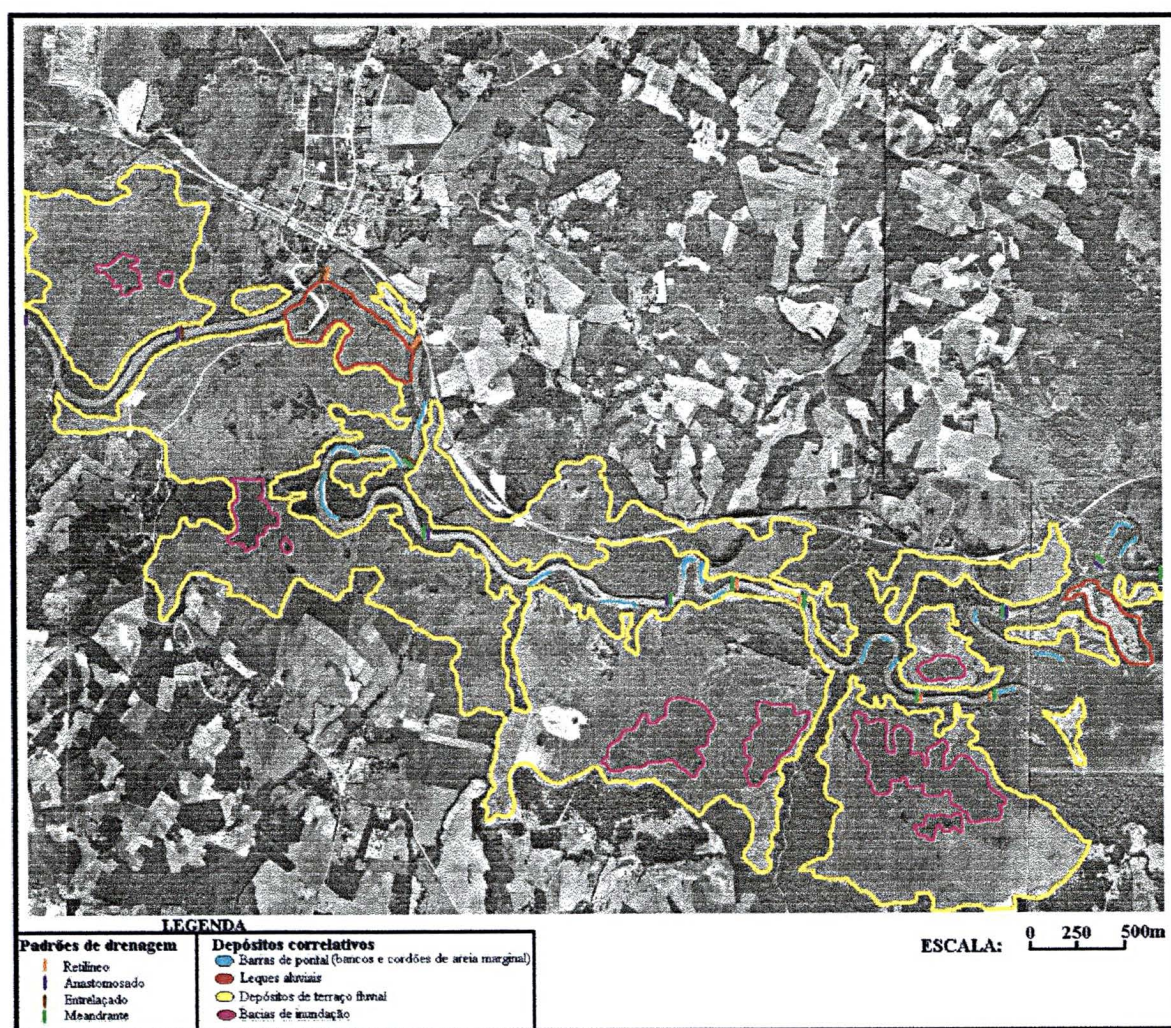


Figura 13: Padrões de drenagem e esboço da distribuição geográfica dos depósitos correlativos na região do alto curso do rio Iguaçu/PR.

Fonte: PROJETO PARANÁ (modificado)- foto aérea do ITC/DENGE (1980).

Diante do exposto, faz-se uma breve descrição das principais características dos padrões morfológicos encontrados no canal fluvial do rio Iguaçu e de seus depósitos correlativos.

Canal retilíneo natural: são morfologias pouco freqüentes, aparecendo em alguns trechos curtos de canais fluviais, com exceção das drenagens controladas por lineamentos tectônicos. Caracterizam-se pela presença de leito rochoso homogêneo que oferece igualdade de resistência à atuação das águas (GUERRA & CUNHA, 1994).

O alto curso do rio Iguaçu, no trecho entre os municípios de Balsa Nova e Lapa, existem alguns segmentos de canal retilíneo de 200 a 300 m de comprimento, muito evidentes em fotografia aérea na escala de 1:25000 (Figura 13). Na área de estudo, os principais depósitos associados a este tipo de morfologia de canal são feições típicas de agradação fluvial, sob a forma de barras e bancos de areia alongados, posicionados principalmente nas margens do rio, em locais onde a cobertura vegetal é praticamente inexistente, formando verdadeiras praias aluviais.

Canal anastomosado: são complexos de canais de baixa energia interconectados, desenvolvidos em regiões úmidas e alagadas, formando ilhas alongadas e recobertas por vegetação (CHRISTOFOLETTI, 1981 e FAIRCHILD et al. , 2000).

Os rios anastomosados caracterizam-se pela presença de dois ou mais canais estáveis e ocorrem em regiões de subsidência em relação do nível de base regional. O processo de retomada erosiva na região do alto curso do rio Iguaçu escavou o leito original, instalado sobre a superfície geomorfológica pretérita do Alto Iguaçu, provocando o rebaixamento do nível de base e conseqüente alteração de alguns trechos do padrão morfológico do canal fluvial que era retilíneo e atualmente encontra-se reafeiçoado para um sistema anastomosado. A superfície anteriormente ocupada pelo canal fluvial e que foi abandonada pela retomada erosiva corresponde ao nível superior do terraço fluvial do rio Iguaçu onde se encontram a maior parte dos depósitos de areia que estão sendo explotados para uso na construção civil da RMC. A extensão dos depósitos de terraço varia de 1,5 km de largura até 3 km de comprimento conforme exhibe a Figura 13.

De modo geral, os depósitos associados à calha fluvial do rio Iguaçu compreendem cascalhos e areias grossas e também silte. Subordinadamente aparecem depósitos de

transbordamento relacionados ao canal fluvial do rio Iguaçu que formam camadas pouco espessas, centimétricas a decimétricas de areia, grânulos e pequenos seixos.

A Figura 13 mostra a distribuição geográfica dos trechos anastomosados do rio Iguaçu no contexto da área de estudo.

Canais entrelaçados: representado por morfologias fluviais que apresentam maior predomínio de carga de fundo. Formam-se canais entrelaçados quando a declividade é média a alta ($> 5\%$), com grande quantidade de carga de fundo, de granulação grosseira, grande variação de descarga e facilidade de erosão nas margens (MIALL, 1996).

Nos rios de canais entrelaçados ocorre uma seleção de partículas, onde as frações de maior granulometria são depositadas em função da diminuição da competência do rio (FAIRCHILD et al., 2000).

Em trechos de canais entrelaçados, as unidades arenosas aproveitadas como agregado para construção civil na região estudada são depositadas em canais abandonados ou em continuidade de barras de cascalhos na região do terraço fluvial do rio Iguaçu, na medida em que estas últimas emergem durante o rebaixamento do nível de água.

Canais meandantes: CHRISTOFOLETTI (1981) reconhece este sistema fluvial pela presença de canais com alta sinuosidade, onde predomina o transporte de carga em suspensão. A migração lateral dos canais ocorre através da erosão progressiva das margens côncavas e sedimentação nos leitos convexos dos meandros.

Fotografias aéreas da área de estudo mostram que os trechos de canais meândricos no alto curso do rio Iguaçu ocupam a maior parte do contexto investigado, intercalados com trechos de canais retilíneos e anastomosados (Figura 13).

A presença de depósitos de canais, depósitos de barras de pontal com superfícies de acrescentamento lateral, depósitos de diques marginais, depósitos de rompimento de diques marginais e depósitos de planícies de inundação bem desenvolvidas são consideradas características típicas de depósitos sedimentares gerados em trechos de canal fluvial meandrante (FAIRCHILD, et. al., op cit.).

Na região do alto curso do rio Iguaçu comumente ocorrem depósitos de canais encontrados na parte mais profunda do leito, sendo formados por sedimentos arenosos grosseiros onde predominam areia grossa a média. Foram identificados depósitos de barras de pontal possuindo composição arenosa formado pela erosão dos sedimentos das margens

côncavas, os quais são depositados pelo processo de acrescentamento lateral dos sedimentos posicionados nas margens convexas dos meandros seguintes.

Os depósitos fluviais mais comuns ocorrem a partir do abandono do segmento do canal através da captura por outro canal ou por avulsão, geralmente relacionado à atividade tectônica, com destaque para o evento de epirogênese positiva que afetou a dinâmica hídrica regional do rio Iguaçu que drena a Bacia de Curitiba (CANALI & MURATORI, 1981). Neste caso, com a diminuição repentina da carga de fundo, o canal é vagarosamente preenchido por material em suspensão de planície de inundação, formando corpos de argila restritos e alongados sobre depósitos conglomeráticos e arenosos típicos de canal. Estes depósitos arenosos típicos de canais meandantes estão sendo presentemente explotados no terraço fluvial do rio Iguaçu, constituindo importante insumo mineral que abastece o setor de construção civil da Região Metropolitana de Curitiba.

Os depósitos de diques marginais que aparecem na planície aluvial do rio Iguaçu exibem corpos elevados, alongados, dispostos em faixas sinuosas junto às bordas do canal, formados em períodos de inundação. Quando ocorre a invasão da planície, devido ao extravasamento das águas do canal, a velocidade de transporte diminui bruscamente, depositando um leque de areias finas próximo às margens. Formam-se depósitos onde ocorre a presença de areia média a fina associadas a argilas laminadas que recobrem os depósitos de areia lenticulares explotados no terraço fluvial do alto curso do rio Iguaçu, região de Balsa Nova e Lapa.

Os depósitos de planície de inundação ocupam uma área relativamente plana adjacente à calha fluvial, coberta por água na época das enchentes do rio Iguaçu. Bacias de inundação ocupam as partes mais baixas desta planície, constantemente inundadas conforme mostra a Figura 13.

5. O APROVEITAMENTO DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ

Sob o ponto de vista de FABIANOVICZ (1998), a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) que engloba a Grande Curitiba, representa uma porção do Estado do Paraná que atualmente concentra a maior parte da atividade mineral, com destaque para a produção de bens minerais não metálicos, bem como a maior densidade demográfica do Estado.

As principais reservas de substâncias minerais do Estado do Paraná são: areia, argila, basalto, gnaiss, migmatito, granito, calcário (mámore calcítico), dolomito (mámore dolomítico), caulim e água mineral; na Tabela 08 encontram-se diversos destes produtos com o valor das respectivas reservas.

Tabela 08 - Reservas das substâncias minerais não-metálicas no Estado do Paraná

SUBSTÂNCIA MINERAL	QUANTIDADE (T)			
	MEDIDA		INDICADA	INFERIDA
	MINÉRIO	CONTIDO		
Areia e cascalho (1)	46.871.292		992.260	
Areia industrial	1.715.845		329.468	
Argilas comerciais e plásticas	162.497.421		11.084.092	1.309.804
Argilas refratárias	1.651.400			
Bário (barita)	173.450	139.045	135.851	
Calcário	3.674.975.743		780.679.319	542.612.397
Caulim	34.227.810		8.347.484	11.726.334
Dolomito	535.534.321		92.726.271	11.853.287
Feldspato	11.870.401		586.375	
Filito	28.586.595		6.024.559	104.571
Fluorita e criolita	6.530.505	2.992.724	644.140	1.148.823
Gnaiss ornamental (1)	601.693			
Granito ornamental (1)	107.154.290		115.458.174	2.425.660
Mámore ornamental (1)	45.617.622		629.051	1.315.000
Outras ornamentais (1)	299.340		3.621.157	
Pedras britadas (1)	400.404.237		225.754.466	197.861.442
Pirofilita	4.761.333			
Quartzito industrial	105.586.248		3.051.679	400.000
Quartzito ornamental	360.899		175.700	
Quartzo	18.065			
Rochas calcárias	6.291.159			
Serpentinó industrial.	64.531.886		1.800	39.486.420
Talco	17.414.694		4.010.274	3.979.613
Turfa	608.416		156.887	

Fonte: Anuário Mineral brasileiro – DNPM (2000).

Obs: (1) unidade expressa em metros cúbicos.

Neste capítulo serão apresentadas informações referentes à potencialidade arenífera em termos de reservas disponíveis e dados de produção de areia no contexto paranaense em geral e na Região Metropolitana de Curitiba em particular.

5.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

PARK JR. (1980) e HARBEN & BATES (1984), afirmam que os minerais industriais podem aparecer em diversos ambientes geológicos como apresentado na Tabela 09. Os depósitos de areia em geral representam o produto da acumulação sedimentar detrítica de minerais mais resistentes ao intemperismo químico. As areias também podem se acumular pela concentração residual de minerais resistentes em mantos de intemperismo.

A granulometria necessária para que um sedimento seja considerado areia está entre 0,02 e 2 mm (PETTIJOHN, 1972).

Tabela 09 – Minerais industriais e ambientes geológicos.

AMBIENTE GEOLÓGICO	TIPOS DE MINERAIS INDUSTRIAIS
SEDIMENTOGENICO	
CLÁSTICO	Areia, cascalho, argila, zirconita, diamante
QUÍMICO	Halita, gipsita, celestita
BIOGÊNICO	Diatomito, turfa
MAGMATOGENICO	
INTRUSIVO	Granito, cromita, sienito nefelínico
PEGMATÍTICO	Feldspato, muscovita, berilo, espodumênio, água marinha
HIDROTHERMAL	Fluorita, barita, cristal de rocha
EXTRUSIVO	Basalto, pedra-pome
METAMORFOGENICO	
METAMÓRFICO	Mármore, magnetita, amianto, talco, ardósia, granada.

Fonte: HARBEN & BATES (1984).

No que concerne à gênese da areia, PETTIJOHN (1972) e SUGUIO (1973) esclarecem que existem cinco processos básicos para a formação de depósitos de areia: o intemperismo, vulcanismo explosivo (piroclástico), efeito abrasivo de colisão/choque pelo transporte de material sedimentar, pelotização e precipitação de soluções por processos químicos ou bioquímicos conforme mostra a Figura 14.

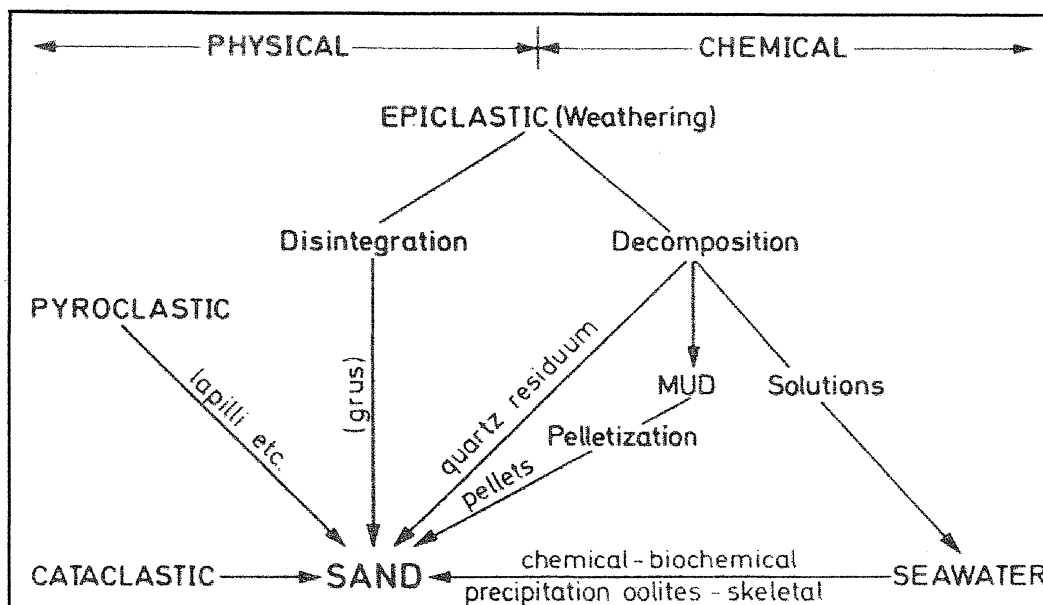


Figura 14: Processos de formação de areia

Fonte: PETTIJOHN (1972).

Rochas ígneas provenientes do embasamento cristalino aparecem como principal fonte para os depósitos de areia na área estudada em função do alto conteúdo de quartzo em sua composição. Estudos geoquímicos estatísticos realizados por CLARKE (1924) apud MASON (1971) revelaram que a maior parte das rochas ígneas possuem entre 30 e 80% de sua composição baseada em sílica onde, frequentemente se faz presente o mineral quartzo, acompanhado por outros silicatos. No caso do quartzo, devido ao seu comportamento estável frente ao intemperismo, comumente é encontrado sob a forma de grãos de areia em vales fluviais gerando importantes depósitos aproveitados como agregado para construção civil, como ocorre na região do alto curso do rio Iguaçu.

O ambiente fluvial é extremamente dinâmico, sendo considerado o mais propício para a formação de jazidas constituídas por elementos resistados do tipo plácer que se acumulam durante processos de sedimentação, ocorrendo o fracionamento e seleção do material hidrotransportado pela variação da competência atuando como barreiras mecânicas. Neste tipo de paisagem ocorre a remoção e o transporte do material detrítico e/ou solúvel por rastejo, escoamento superficial, solução, tanto em ambientes redutores como oxidantes (BIGARELLA et al., 1994 e FORTESCUE, 1980).

5.2. RESERVAS DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ

Prospecção e pesquisa mineral constituem uma das atividades mais importantes para o sucesso da indústria mineira. A pesquisa mineral é uma das etapas da exploração geológica e deve ser encarada como uma atividade que gera impactos positivos para a sociedade,

evitando-se riscos desnecessários e acelerando o processo de exploração em termos de qualidade e quantidade dos recursos disponíveis (MACHADO, 1989).

As reservas minerais são definidas em função das tecnologias empregadas e os preços de mercado, por conseguinte, torna-se difícil efetuar-se previsão em longo prazo, principalmente para os produtos minerais destinados ao suprimento da demanda do setor de construção civil, como no caso da areia (HERMANN, 1992).

As reservas de areia que apresentam alta pureza e volume considerável encontram-se relativamente escassas ou em vias de esgotamento, principalmente no entorno das regiões metropolitanas, notadamente na Região Metropolitana de Curitiba - RMC, onde a pressão demográfica tem expulsado a mineração de areia efetuada nas áreas de várzea do rio Iguaçu e seus afluentes, em decorrência de conflitos de uso do solo e agravamento dos impactos ambientais decorrentes desta atividade (FABIANOVICZ, 1998).

Atualmente, de acordo com o DNPM (2000), as reservas de areia e cascalho no Estado do Paraná são de 46.871.292 m³ (ver Tabela 08). Apresenta-se na Tabela 10 a quantidade das reservas de areia e cascalho dos municípios produtores no contexto da RMC.

Tabela 10: Reservas de areia e cascalho na Região Metropolitana de Curitiba.

MUNICÍPIO PRODUTOR	QUANTIDADE (m ³)
ARAUCÁRIA	213.500
BALSA NOVA	669.785
LAPA	739.233
QUATRO BARRAS	262.836
SÃO JOSÉ DOS PINHAIS	575.881

Fonte: Anuário Mineral – DNPM (2000)

De acordo com os dados apresentados acima, Balsa Nova e Lapa, área objeto de estudo desta dissertação de mestrado, possuem as maiores reservas de areia e cascalho da RMC.

BORDIGNON et al. (1985) esclarecem que os dados de produção mineral de agregados para uso no setor de construção civil no contexto brasileiro são subavaliados e/ou não confiáveis, principalmente pela carência de trabalhos sistemáticos de pesquisa mineral. Ressaltam, ainda, que o valor real da produção de areia é difícil de ser avaliado por motivos que enumeramos com algumas adaptações:

1. Produtores e consumidores são dispersos, dificultando o controle da produção.
2. Equipamentos de lavra e de beneficiamento têm facilidade de desmontagem, caracterizando a mineração de areia como uma atividade nômade, ocorrendo o abandono das cavas parcialmente exploradas e a retomada da atividade em outras áreas.

3. A atividade de mineração de areia segue as oscilações do mercado e em épocas de crise, areeiros são fechados. Tal situação se inverte em épocas de crescimento do mercado, período em que aumenta a quantidade de empreendimentos em funcionamento.
4. Dados de produção revelam grande evasão fiscal. Valores de produção de areia calculados a partir de notas fiscais não são os mesmos que os obtidos mediante outros tipos de levantamento.

Conforme MINEROPAR (1994) informações existentes no Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Curitiba do ano de 1991 revelaram a presença de potentes depósitos de areia de boa qualidade nas várzeas do rio Iguaçu.

A avaliação geológica do potencial arenífero paranaense foi efetuada com base na integração de estudos bibliográficos, de fotografias aéreas e de imagens de satélite. Tais estudos indicaram, para a RMC, a existência de diversas áreas com feições geológicas favoráveis para a existência de depósitos de areia potencialmente interessantes:

ÁREA 01: Área representada pelas formações argilo-arenosas terciárias quaternárias (Formação Guabirotuba). Presença aflorante de expressivos leitos arenosos da cobertura sedimentar localizada no entorno das cidades de Curitiba, São José dos Pinhais, Piraquara e Araucária. A maior parte desta área está liberada à atividade mineral, com exceção de alguns parques ecológicos legalmente protegidos pela legislação ambiental.

ÁREA 02: todos os aluviões quaternários depositados em ambiente fluvial. Corresponde a uma grande extensão de sedimentos aluviais encontrados no leito ativo e no terraço fluvial do rio Iguaçu e seus afluentes, porção oeste de Curitiba, região ainda não ocupada pela urbanização. Compreendem os municípios de Balsa Nova e Lapa, situados no extremo oeste da RMC, área objeto de estudo desta dissertação de mestrado onde existem frentes de lavra em atividade com cavas de até 10 metros de profundidade nos terraços fluviais, sendo a área mais promissora em termos de reservas disponíveis de areia para construção civil.

ÁREA 03: constitui uma série de pequenas áreas isoladas de depósitos sedimentares Paleozóicos ainda pouco explorados, situado no extremo oeste da RMC, no limite entre o Primeiro e Segundo Planalto paranaense, compreendendo mantos de alteração de espessuras variáveis, provenientes do intemperismo de rochas areníticas (Grupo Paraná e Grupo Itararé). É constituído principalmente por sedimentos arenosos, com recobrimento de aluviões argilosos recentes situados nas planícies aluviais dos rios que drenam a região e sob a forma de depósitos de tálus que recobrem a base das vertentes e escarpas íngremes da região.

AREA 04: Manto de intemperismo coluvionar existente em áreas com substrato de rochas quartzosas pré cambrianas (granitos, migmatitos e quartzitos) encontrados no compartimento geomorfológico da Serra do Mar, que, na RMC estão em contato com sedimentos da Formação Guabirota.

As demais rochas pré cambrianas, cujos produtos de alteração são de natureza predominantemente argilosa, foram agrupadas no pré cambriano indiferenciado e não consideradas como unidades potencialmente favoráveis à formação de depósitos de interesse. Existem importantes reservas de areia encontradas no embasamento cristalino (região de Morretes e Paranaguá) onde aparecem rochas de idade geológica bem mais antiga.

Para uma avaliação quantitativa do potencial das reservas de areia da RMC foram selecionadas estas 04 áreas que, numa avaliação prévia, mostraram características mais representativas do universo de depósitos conhecidos e identificados como de maior interesse econômico e ambiental para o presente estudo. No âmbito dessas áreas foram direcionados trabalhos de maior detalhe na região de Balsa Nova e Lapa, a qual corresponde à área de estudo desta pesquisa.

Os estudos realizados tanto em campo como em laboratório e bibliografia permitiram identificar diversas áreas que teriam servido de fonte do material que constituem os depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu. Em seguida apresenta-se a descrição das principais áreas que seriam fonte destes depósitos de areia: grande parte dos sedimentos transportados pelo rio Iguaçu e seus afluentes procederam do Complexo Gnáissico – migmatítico (embasamento cristalino), constituído por migmatitos homogêneos e heterogêneos bem como por gnaisses, xistos magnesianos, anfíbolitos e quartzitos. Parte dos sedimentos procede das áreas de ocorrência do Grupo Açungui e Setuva onde predominam filitos, quartzitos e rochas calcárias. Os granitos e diabásios também contribuem como área fonte para os sedimentos cenozóicos encontrados na região de Balsa Nova e Lapa, conforme esclarece BECKER (1982).

5.3. PRODUÇÃO DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ

De acordo com SCHOBENHAUS (1984) e IBRAM (1994) os recursos minerais utilizados como agregados para a indústria de construção civil são abundantes no Brasil. Em geral, os grandes centros consumidores encontram-se em regiões geologicamente favoráveis à existência de reservas de boa qualidade. Os principais locais de produção de areia são várzeas e leitos de rios, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas ricas em quartzo.

No Brasil, 90% da areia é produzida em leitos de rios. Os principais pólos de produção de areia no contexto brasileiro são as regiões do vale do Rio Paraíba do Sul, no

Estado de São Paulo, que responde por cerca de 25% da produção paulista e 10% de toda a produção nacional. Outras grandes regiões produtoras são Sorocaba, Piracicaba e vale do rio Ribeira de Iguape, também no Estado de São Paulo; Seropédica, Itaguaí, Barra de São João e Silva Jardim no Estado do Rio de Janeiro, os rios Guaíba, Caí e Jacuí, no Estado do Rio Grande do Sul, vale do rio Itajaí, em Santa Catarina, vale do rio Tibagi no município de Ponta Grossa/PR, o rio Paraná, na região de Guaíra/PR e a várzea do rio Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba - RMC, área alvo de estudos desta pesquisa VALVERDE (1992).

No Estado do Paraná, principalmente na RMC, a areia é explotada em larga escala, podendo-se distinguir dois tipos quanto ao uso: areia para construção civil e a areia para uso industrial. Cerca de 95% de toda a produção de areia do Estado do Paraná é consumida pelo setor de construção civil e a parcela restante é enviada para os demais setores industriais (MINEROPAR, 1997 e CPRM, 2000).

CRUZ (1998) expõe que a atividade extrativa de areia na RMC é desenvolvida de forma acentuada desde a década de 40, sendo que em muitos locais, este bem mineral já está praticamente esgotado ou legalmente impedido de ser explotado por ser incompatível com as atividades ligadas à ocupação urbana do solo. Com isso, observa-se, ao longo do tempo, a migração das áreas de produção de areia do leste de Curitiba (Piraquara, Pinhais e São José dos Pinhais) em direção ao sul (Mandirituba e Fazenda Rio Grande) posteriormente para sudoeste (Araucária) e mais recentemente para oeste (Balsa Nova, Contenda e Lapa), área de estudo desta dissertação de mestrado.

Para a MINEROPAR, a indústria de transformação agrega significativo valor à matéria-prima mineral produzindo cerca de 15 milhões de toneladas/ano de bens minerais, para uma riqueza gerada no Estado do Paraná de cerca de US\$ 50-bilhões em 1996.

De acordo com o DNPM (2002), o mercado produtor de insumos minerais para uso em agregados no Estado do Paraná apresenta-se relativamente uniforme e bem desenvolvido, próximo aos centros consumidores, constituído por empresas de médio a pequeno porte, com algumas empresas individuais.

Atualmente, a produção anual total de bens minerais para uso como agregados no Estado do Paraná é de aproximadamente 14.935.000 m³ de areia e cascalho e 10.300.000 m³ de pedra britada, representando a capacidade produtiva instalada (Tabela 11).

O setor mineral paranaense é voltado principalmente para o mercado interno. Produz principalmente minerais não-metálicos, com destaque para os insumos utilizados diretamente na construção civil, fabricação de cimento e cal, corretivo agrícola, indústria cerâmica, combustíveis e indústria química (Tabela 11).

Tabela 11 - Produção de minerais não-metálicos no Estado do Paraná

SUBSTÂNCIA MINERAL	QUANTIDADE (T)	
	BRUTA	BENEFICIADA
Água mineral	191.197.582 (1)	
Areia e cascalho	14.935.000 (2)	
Areia industrial	100	
Argilas comerciais e plásticas	2.900.745	454.097
Argilas refratárias	11.254	1.621
Bário (barita)	100	100
Calcário	8.685.452	8.196.865
Caulim	56.874	11.888
Dolomito	1.102.736	511.143
Feldspato	38.141	
Filito	2.944	2.427
Granito ornamental	2.113 (2)	
Mármore ornamental	59.471 (2)	
Outras pedras naturais	13.407 (2)	13.285 (3)
Pedras britadas	10.300.000 (2)	10.321.285 (2)
Quartzito industrial	4.903	1.945
Quartzito ornamental	12.416	
Talco	143.436	41.694

Fonte: Anuário Mineral – DNPM (2000).

Obs: (1) Unidade expressa em litros (2) Unidade em metros cúbicos (3) Unidade em metros quadrados

A produção mineral paranaense apresentou um índice positivo de crescimento no período de 1994 a 1998 com destaque para a produção de minerais não metálicos, como pode ser observado nos dados da Tabela 12.

Tabela 12-Índice de crescimento da produção da indústria mineral no Estado do Paraná

Segmentos	1994	1995	1996	1997	1998
indústria geral	119,07	112,38	116,54	123,24	127,19
extrativa mineral	80,72	92,09	86,8	93,34	71,47
minerais não metálicos	93,33	108,24	122,86	142,16	132,55

Fonte: IBGE/DPE/Dept. Indústria

Base: média do ano de 1991 = 100

A maioria dos depósitos de areia existentes no Estado do Paraná estão associados a aluviões encontrados nos leitos e terraços fluviais das principais drenagens, principalmente na

porção noroeste (rio Paraná e Paranapanema e seus afluentes) e a região do alto curso do rio Iguaçu, área de estudo desta dissertação de mestrado.

As maiores reservas de areia do Estado do Paraná encontram-se no município de Ponta Grossa, com 40.694.056 m³. O município de Paranaguá apresenta as maiores reservas do litoral paranaense, com 906.622 m³ conforme dados do DNPM (2000).

Cumprir destacar a presença de uma grande área recoberta por basaltos mesozóicos na porção oeste do Estado (Terceiro Planalto) que não apresenta condições geológicas favoráveis para a formação de depósitos de areia conforme mostra a Figura 15.

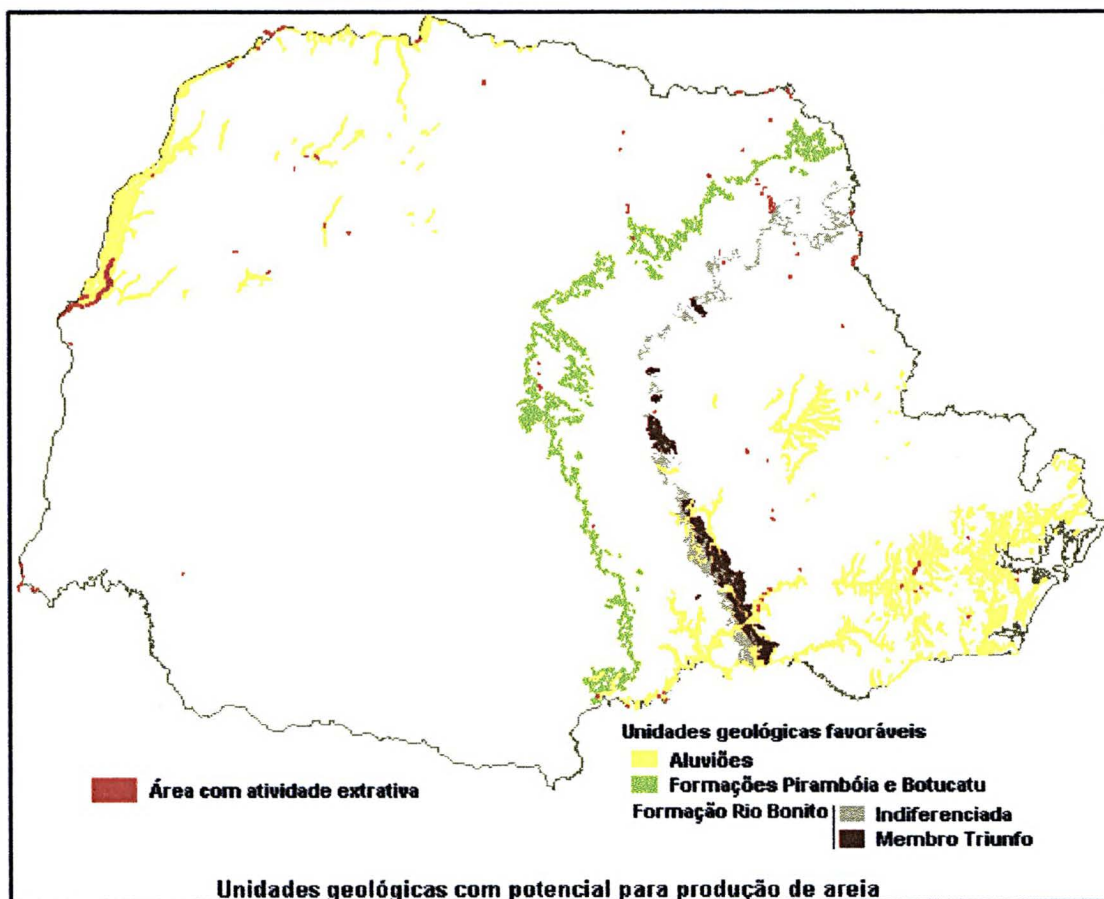


Figura 15: Reservas de areia no Estado do Paraná

Fonte: MINEROPAR, 2000.

CRUZ (1998) e CPRM (2000) afirmam que na porção norte da RMC (Primeiro Planalto Norte) aparecem associações litológicas variadas e compartimentações geotectônicas próprias, mas, a exceção de alguns corpos de granitos individualizados, não constituem áreas potenciais para produção de areia. Por outro lado, a área Primeiro Planalto Sul apresenta condições geológicas muito favoráveis à formação de depósitos de areia relacionados a sedimentação resultante da ação do intemperismo e transporte de detritos oriundos principalmente das formações da região, formam-se desta maneira os depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu, localizados na região de Balsa Nova e Lapa.

Conforme o cadastro da MINEROPAR existem cerca de 1850 empresas mineradoras legalmente registradas no Estado do Paraná: 233 empresas produtoras de areia, sendo que 17 estão entre as 100 maiores empresas de mineração do Estado; 720 no setor cerâmico e 69 na indústria da cal. Produzem 25 milhões de toneladas/ano, o que corresponde a aproximadamente 125 milhões de dólares/ano de valor direto da indústria de extração e beneficiamento.

O universo de empresas produtoras de areia instaladas nos municípios paranaenses que constituem o cadastro da MINEROPAR (1994) foram classificadas de acordo com o volume anual de produção em toneladas, utilizando-se um critério baseado no porte dos empreendimentos (tamanho e estrutura) assim reconhecidas: grande produção - acima de 200.000 ton, média produção - 100 a 200.000 ton, pequena produção - de 30 a 100.000 ton e micro produção - menor que 30.000 ton representadas na Figura 16.

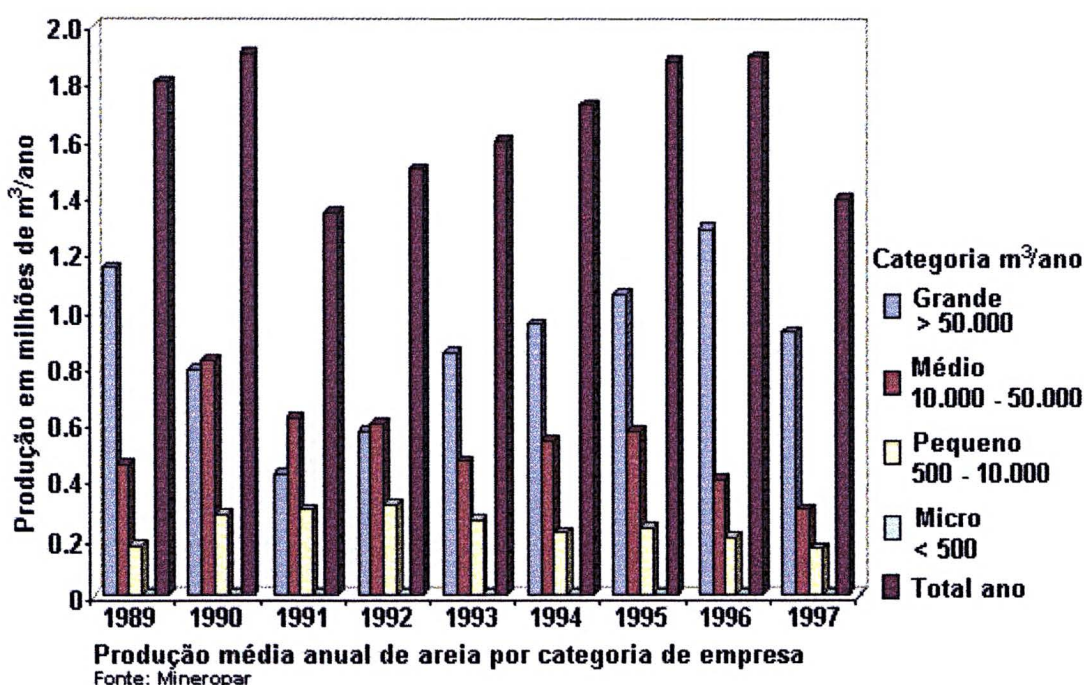


Figura 16: Produção média anual de areia por categoria de empresa

Fonte: MINEROPAR, 2000.

Médias empresas realizam a exploração de areia na RMC, concentradas principalmente nas várzeas do rio Iguaçu. Cumpre destacar o caso particular do município da Lapa que possui uma grande quantidade de areeiros de médio porte também responsáveis pelo abastecimento do mercado consumidor de areia na área investigada (Figura 17).

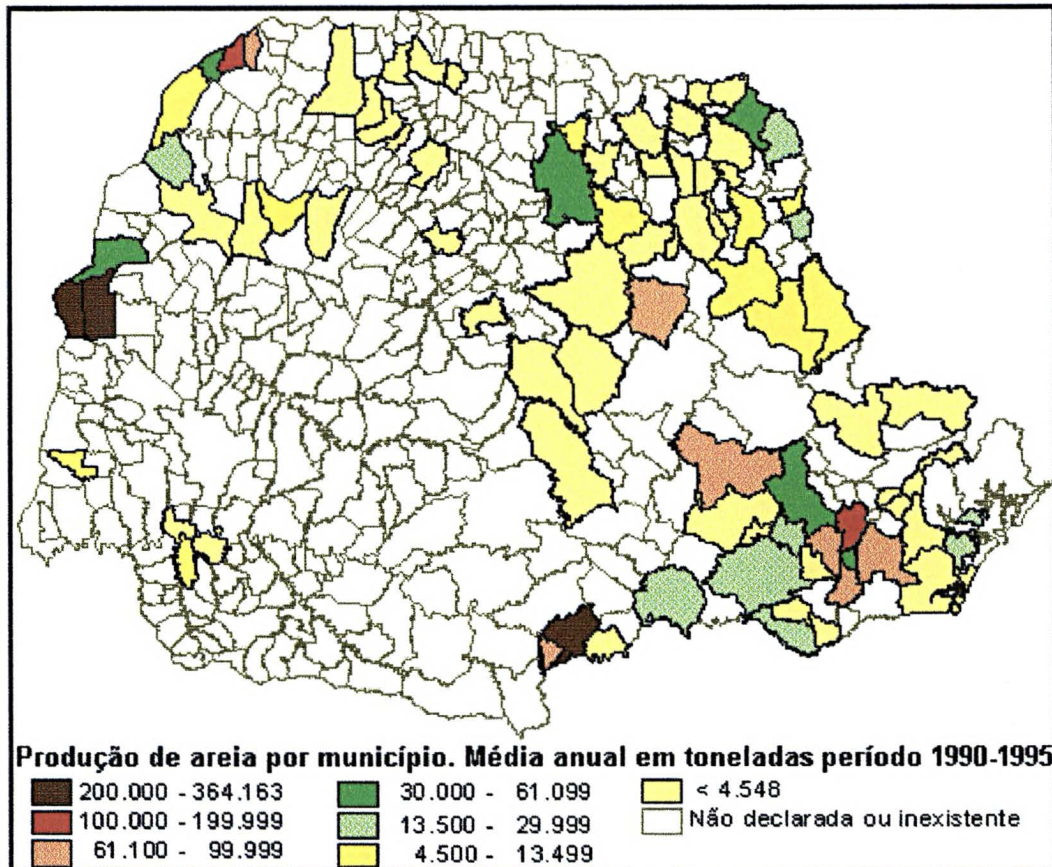


Figura 17 – Produção de areia por município no Estado do Paraná

Fonte: MINEROPAR, 2000.

Os principais municípios produtores de areia concentram-se nas regiões com os maiores índices de crescimento e maior renda per capita notadamente na RMC onde aproximadamente 70 % de seu território é considerado zona de mananciais ou de preservação ambiental. O município de Curitiba, por exemplo, possui areeiros de grande porte ainda em operação próximo a áreas de proteção ambiental. Os empreendimentos que extraem areia nas várzeas dos rios Iguaçu e seus afluentes têm importante contribuição no combate às enchentes e evitam invasões e loteamentos ilegais em áreas inadequadas como as várzeas e fundos de vale (AREIA & BRITA, 1998).

5.4. ASPECTOS INSTITUCIONAIS DA MINERAÇÃO DE AREIA NO ESTADO DO PARANÁ

O Código de Mineração expõe, em seu Art. 1º, que a União é responsável pela administração dos recursos minerais, a indústria de produção mineral, a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais existentes no território brasileiro. Recentemente, o Decreto nº 3.358, de 2 de fevereiro de 2000 alterou a Lei nº 9.314, de 14 de novembro de

1996, acrescida pelo art. 1º da Lei nº 9.827, de 27 de agosto de 1999, apresentando uma lista detalhada das substâncias minerais de emprego imediato na construção civil (IAP, 1998):

I – areia, cascalho e saibro, quando utilizados in natura na construção civil e no preparo de agregado e argamassas;

II – material siltico-argiloso, cascalho e saibro empregados como material de empréstimo;

III – rochas, quando aparelhadas para paralelepípedos, guias, sarjetas, moirões ou lajes para calçamento;

V – rochas, quando britadas para uso imediato na construção civil.

Conforme a Resolução CONAMA nº 009/90, para o empreendedor exercer as atividades de lavra e/ou beneficiamento de areia deverá apresentar um Relatório de Pesquisa Mineral ao DNPM para então habilitar-se ao LA - licenciamento ambiental.

O pedido de licença ambiental envolve, em uma primeira instância, o pedido de licença prévia para a pesquisa mineral seguido de uma licença de instalação e finalmente uma licença de operação e respectiva renovação que deve ser apresentada ao órgão ambiental responsável pelo acompanhamento e fiscalização dos areeiros, que no Estado do Paraná corresponde ao Instituto Ambiental do Paraná –IAP (IAP 1998). O DNPM (2000) fornece em seu cadastro, dados referentes ao aspecto legal da atividade de mineração de areia para o Estado do Paraná conforme ilustra a Tabela 13.

Tabela 13: Situação legal das empresas de mineração de areia no Estado do Paraná.

ASPECTOS LEGAIS DA MINERAÇÃO DE AREIA	NÚMERO DE DIPLOMAS
Relatório de pesquisa aprovado	21
Concessão de lavra	09
Licenciamento	21

Fonte: Anuário Mineral brasileiro - DNPM (2000).

A tabela 14 mostra a relação dos títulos minerários para o desenvolvimento da atividade de exploração de areia expedidos ou ainda em tramitação legal para os municípios de Balsa Nova e Lapa/PR até 1997.

Tabela 14: Direitos minerários nos municípios de Lapa e Balsa Nova/PR

SUBSTÂNCIA	Nº DE EMPREENDIMENTOS	FASE	MUNICÍPIO
Areia	1	Autorização de Pesquisa	Balsa Nova
Areia industrial - argila refratária	1	Autorização de Pesquisa	Balsa Nova
Argila refratária-migmatito-areia	1	Autorização de Pesquisa	Balsa Nova
Quartzito	2	Autorização de Pesquisa	Balsa Nova
Ferro – Quartzito	1	Concessão de Lavra	Balsa Nova
Areia	5	Licenciamento	Balsa Nova
Gnaiss	1	Licenciamento	Balsa Nova
Migmatito	1	Licenciamento	Balsa Nova
Argila – Arenito	1	Requerimento de Lavra	Balsa Nova
Total no município	14		
Areia	5	Autorização de Pesquisa	Lapa
Arenito	1	Concessão de Lavra	Lapa
Areia	13	Licenciamento	Lapa
Areia – Argila/Caulim	1	Requerimento de Lavra	Lapa
Total no município	20		

Fonte: Títulos minerários - DNPM abril/1999

Obs: Dados disponíveis para os municípios de Lapa e Balsa Nova até 1997.

Na Tabela 14, pode-se observar que a maior parte dos areeiros existentes na área de estudo, ainda se encontram em fase de autorização de pesquisa, o que mostra claramente a clandestinidade vigente no setor de mineração de areia da RMC. Prova disto é o pequeno número de areeiros que estão operando em situação regular, ou seja, que já possuem o licenciamento expedido pelos órgãos responsáveis pela legalização da atividade.

O regime de licenciamento, que regulamenta o aproveitamento de areia, determina a participação do proprietário do solo nos resultados da lavra (Art. 11, alínea b do Código de Mineração), sendo de cinquenta por cento do valor total devido aos Estados, Distrito Federal, Municípios e órgãos da administração direta da União à título de uma compensação financeira pela exploração de recursos minerais (CFEM).

Quanto à atuação dos órgãos públicos responsáveis pelo aproveitamento de agregados para construção civil, VALVERDE (1992) esclarece que o DNPM, órgão do Ministério das Minas e Energia com competência exclusiva para a elaboração e execução da política e administração dos recursos minerais no território nacional, atuou de forma isolada, restrito

apenas à aplicação do Código de Mineração. Este fato, associado a um significativo aumento na abertura de novas frentes de produção de areia no alto curso do rio Iguaçu, no Estado do Paraná, e complementado pela prática dos mineradores da região com relação aos problemas do meio ambiente, propiciou, como consequência, o surgimento de graves conflitos relacionados, essencialmente, à compatibilização da mineração com as demais atividades econômicas de uso e ocupação do solo.

Na área de estudo onde se localizam os depósitos de areia do alto curso do rio Iguaçu, há diversos problemas relacionados principalmente ao meio ambiente, os quais serão abordados no capítulo 07.

6. A MINERAÇÃO DE AREIA NO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

A história da mineração de areia nas áreas de várzea do alto curso do rio Iguaçu inicia-se com o próprio surgimento de Curitiba, ou seja, há mais de 300 anos, pois sabe-se que a areia já era um produto mineral bastante utilizado na construção civil naquela época.

Até a década de 20, a areia era um recurso mineral de pouca importância econômica para o setor de construção civil paranaense pois havia uma grande demanda de madeira utilizada na construção de residências. Na década de 60, o setor agroindustrial paranaense foi um dos responsáveis pelo gradativo aumento na demanda de areia utilizada, sobretudo, na construção e ampliação da rede viária e verticalização da cidade de Curitiba. A partir da década de 80, com a diversificação das atividades industriais no Estado do Paraná e instalação de empresas de grande porte com tecnologia avançada, a exploração de areia adquire grande importância, permitindo o crescimento vertical e horizontal urbano em toda a RMC, fato que exige maior volume de areia. Neste contexto, as empresas extratoras tiveram que devastar extensas áreas de várzeas sem qualquer controle ambiental, aumentando o nível de poluição (CIGOLINI et al. 1998).

As áreas que atuam como fonte de abastecimento de areia para a RMC encontram-se próximas da exaustão, restando, muitas vezes, áreas especiais e de uso restrito. Por este motivo, as empresas fornecedoras de areia e/ou órgãos governamentais ligados ao setor mineral têm por obrigação ou por necessidade, pesquisar areia em outros ambientes geológicos favoráveis, principalmente aqueles que se situam no entorno da RMC conforme CRUZ (1998).

Os depósitos aluviais representam o ambiente mais favorável para obtenção de areia, existem importantes planícies aluviais e terraços fluviais no alto curso do rio Iguaçu, municípios de Balsa Nova e Lapa (Estado do Paraná); área alvo deste estudo, onde aparecem potentes depósitos que atualmente são considerados a principal fonte de abastecimento de areia para o setor de construção civil da RMC (Figura 18).



Figura 18: Cavas de areia no alto curso do rio Iguaçu.

Fonte: trabalho de campo.

Os depósitos de areia desta área são caracterizados como homogêneos no contexto geral da região do alto curso do rio Iguaçu, apesar de existirem variações locais na espessura das lentes de areia (04 a 10 m) e de argila, principalmente ao longo dos tributários deste rio.

CRUZ (1998) estabeleceu também outras áreas alternativas para a mineração de areia na RMC, a seguir descritas:

- Areal do rio Iraí: presença de 03 metros de espessura de areia aluvionar até o embasamento cristalino sobreposto a um pacote de 01 metro de silte verde litificado.
- “Escarpa Devoniana”: as Formações Furnas e Itararé que ocorrem em toda a região oeste/noroeste da RMC, a uma distância aproximada de 50 km da capital Curitiba. Está constituída essencialmente por arenito quartzoso e subordinadamente por material de argila tipo caulim.
- Gnaiss alterado: na região de Balsa Nova e Lapa afloram rochas que fazem parte do complexo gnáissico–migmatítico além de depósitos aluvionares na planície aluvial do rio Iguaçu.

FABIANOVICZ (1998) cita alguns trabalhos de levantamento e caracterização dos depósitos de areia na região do alto curso do rio Iguaçu:

GÓIS et al. (1993), realizaram um estudo de avaliação dos depósitos de areia na planície aluvial do rio Iraí que é um subafluente do rio Iguaçu. O rio Iraí encontra-se atualmente represado e nele foi constatada a existência de uma reserva de areia que pode chegar a 55.125.000 m³.

PELLENZ & LOYOLA (1994), realizaram estudos no Alto Iguaçu, cobrindo uma área de 405 ha, identificando um volume de areia de aproximadamente 4.252.500 m³. Tal volume de agregados seria suficiente para atender uma demanda de 45.000 m³/mês durante o prazo de oito anos, considerando que no local a espessura média da lente de areia é da ordem de 1,5 m.

KAEFER et al. (1988) que descreveram em seus trabalhos, depósitos de areia com estratos horizontalizados intercalados localmente com lentes de argilas, apresentando uma cobertura de solo orgânico de aproximadamente 30 cm de espessura sobre um pacote de argila de espessura variável. As areias apresentam cor cinza esbranquiçada, granulação média, localmente grosseira e mal selecionada, com uma espessura média de 1,68m.

6.1. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA MINERAÇÃO DE AREIA NA REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

As operações consideradas durante a prática de mineração de areia no Alto Iguaçu são as seguintes: pesquisa mineral; lavra de areia através do decapeamento; desmonte mecânico, transporte interno; beneficiamento; disposição de rejeitos; estocagem da areia (pátio de depósito) e operações auxiliares.

6.1.1. Pesquisa mineral

A pesquisa mineral consiste em uma etapa importante para a exploração de areia na região do alto curso do rio Iguaçu, no entanto, observam-se raras iniciativas e poucos investimentos no que se refere à realização de estudos mais detalhados de localização geográfica e avaliação das características das jazidas como resultado da grande clandestinidade existente neste setor de mineração de material de emprego imediato na construção civil, onde prevalece a baixa capacidade tecnológica.

Além disso, deve ser destacado que o valor comercial da areia representa um fator de limitação de investimento em pesquisa mineral, a qual, geralmente é considerada onerosa para o empreendedor.

Os trabalhos de pesquisa mineral executados por algumas empresas mineradoras de areia, da região de Balsa Nova e Lapa, são geralmente insuficientes para uma determinação das reservas geológicas existentes, localização geográfica, forma e composição dos depósitos.

Também são muito escassos os trabalhos de topografia de detalhe, em escala compatível com o mapeamento geológico e com o planejamento da mineração, aqui compreendido como planejamento de lavra, de beneficiamento e de controle ambiental.

O valor das pesquisas minerais e do planejamento da mineração é subestimado, acarretando dificuldades na previsão da vida útil e do grau de desenvolvimento da lavra por ocasião do esgotamento das reservas.

6.1.2. Lavra

Nos depósitos de areia do alto Iguaçu, região de Lapa e Balsa Nova, a lavra é do tipo a céu aberto, em geral em cava seca onde o bem mineral a ser explotado encontra-se depositado em camadas de espessuras variáveis, geralmente sotoposto a horizontes de solo argiloso.

O método de exploração de areia fundamenta-se na escavação por meio de desmonte mecânico do capeamento de argila localizado sobre as camadas de areia, com a mina evoluindo para o formato de cava em piscinas ou de um talude irregular.

As cavas são inundadas pela interceptação do nível piezométrico durante os trabalhos de lavra conforme ilustra a Figura 19.

No universo das minerações de areia estudadas são poucos os empreendimentos que estão operando com técnicas modernas, resultando em prejuízos no aproveitamento completo das jazidas, no rendimento das operações e na recuperação das áreas degradadas.



Figura 19: Capeamento de argila sobre camada de areia em uma cava inundada.

Fonte: trabalho de campo.

As frentes de trabalho nos areeiros da região de Balsa Nova e Lapa avançam de acordo com as características geológicas, a disponibilidade de equipamentos e a experiência prática do minerador.

As principais operações da mineração de areia na área de estudo são similares às desenvolvidas no Estado de São Paulo e constam no fluxograma da Figura 20:

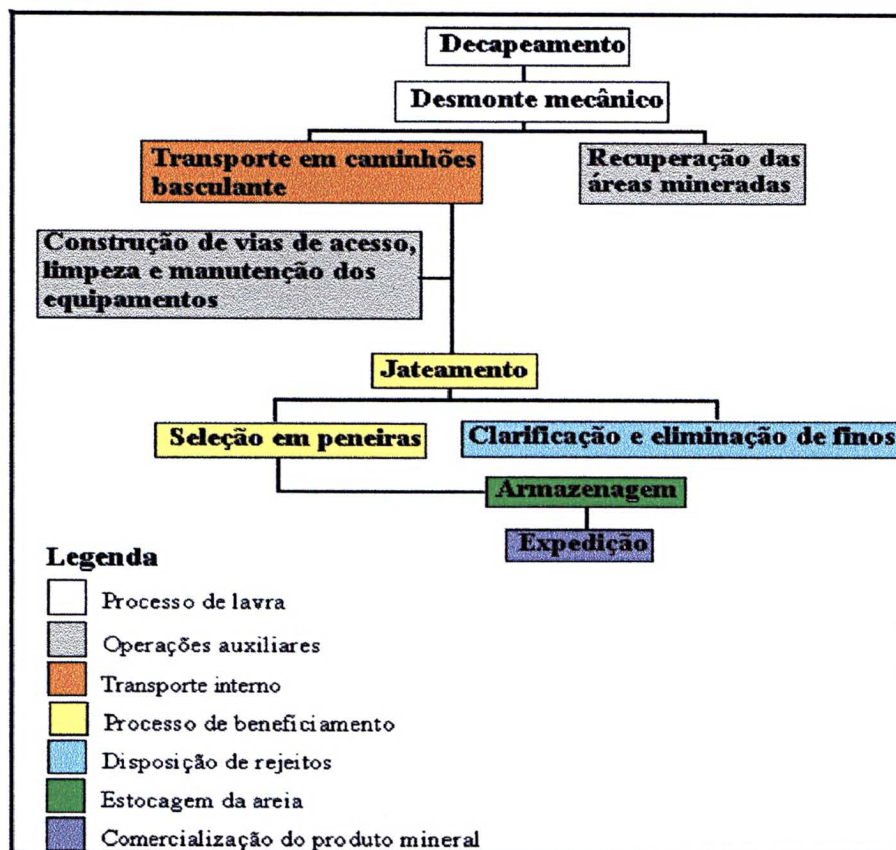


Figura 20: Principais operações da mineração de areia pelo método da cava seca.

Fonte: Modificado de VALVERDE (1992).

6.1.3. Decapeamento

Trata-se da remoção periódica do solo que recobre a camada de minério útil, neste caso, a areia para a construção civil. O material de cobertura constituído por uma camada de argila é aproveitado na construção de acessos, de outras obras operacionais e de diques marginais à calha do rio Iguaçu como forma de impedir a inundação do terraço fluvial da área do empreendimento.

Nos areeiros investigados não há qualquer registro de comercialização do referido material para outras finalidades. Com a aplicação da legislação ambiental mais rigorosa, a tendência dominante é que a argila retirada durante o processo de decapeamento seja utilizada ao máximo como material de empréstimo ou armazenamento para posterior aproveitamento. Contudo, não se observam trabalhos no remanejamento, quer da vegetação, quer do solo orgânico, com vistas à reabilitação da área de mineração nos areeiros de Lapa e Balsa Nova.

O processo de decapeamento da camada argilosa nos areiros de Balsa Nova e Lapa são realizados com máquinas do tipo retroescavadeira ou pá carregadeira e o material removido é transportado em caminhões basculantes (Figura 21).



Figura 21: Aspectos do desmonte mecânico e carregamento dos caminhões basculante.
Fonte: trabalho de campo.

Durante o processo de decapeamento e geração de cavas, nem sempre são observados os ângulos de talude adequados à topografia local e ao tipo de material, bem como, em geral, são ignorados pela maior parte dos areiros da região os aspectos relativos à não-interferência com a drenagem natural e os procedimentos adequados para a disposição temporária ou definitiva dos solos removidos. Algumas vezes, o solo superficial é lavrado como se fosse minério, acarretando aumento do volume do rejeito, gerando dificuldades de seleção da areia durante a fase de beneficiamento.

6.1.4. Desmonte mecânico

O desmonte mecânico é o método de lavra de areia predominante na região do alto curso do rio Iguaçu. Este tipo de lavra utiliza máquinas retroescavadeiras e pás carregadeiras que realizam a escavação do local. O desmonte mecânico otimiza o processo de lavra da areia e gera menor despesa para o empreendedor no que se refere ao consumo

de combustíveis (óleo diesel), além de diminuir o risco de desmoronamentos das cavas e perdas do minério útil que acaba se misturando facilmente com a argila presente nos horizontes superficiais do solo. Com este método, a areia é explotada sem desperdícios e imediatamente bombeada para as peneiras, diminuindo sensivelmente os impactos ambientais (VALVERDE, 1992).

6.1.5. Transporte interno

O transporte interno é entendido como o deslocamento de polpas de minério, desde a área do desmonte mecânico até uma bacia de acumulação, localizada próxima à cava, e desta para a planta de beneficiamento onde se encontram as peneiras de separação. Faz parte também desta operação, a transferência da polpa de descarte, da planta de beneficiamento aos reservatórios de retenção de rejeito.

Da planta de beneficiamento aos reservatórios, o transporte da polpa é feito por canais a céu aberto ou em função dos locais e das cotas da captação e de despejo, por tubulação e bomba centrífuga de mistura fina (bomba de areia). As bombas empregadas no transporte de polpa são acionadas por motores diesel. As tubulações utilizadas são de aço sem costura, de aço espiralado ou de lona e borracha (mangote), esta última geralmente em trechos.

Não obstante, o transporte interno em lavras de desmonte mecânico é preferencialmente efetuado por caminhões basculantes que oferecem menor perda de material, porém com custo operacional mais elevado.

6.1.6 Beneficiamento

São objetivos do beneficiamento a desagregação das partículas, a seleção granulométrica e o desaguamento da areia. Os equipamentos necessários ao processo de beneficiamento da areia são as motobombas, reservatórios de concentração primária, silos, tubulações e dispositivos de jateamento, flutuadores e equipamentos de terraplenagem.

A polpa, proveniente da bacia de acumulação, é recebida em reservatórios denominados tanques baixos ou de relavagem, escavados no próprio solo ou construídos de alvenaria ou com chapas de aço. Os três tipos são usados nos areeiros do alto curso do rio Iguaçu. Os dois últimos tipos possuem vertedouros com comportas horizontais que

permitem a progressiva acumulação de material de granulometria grossa, cascalhos e areias, e o descarte de finos. Geralmente há uma peneira estática junto à entrada para a retenção de fragmentos maiores (pedregulhos, pelotas de argila) e de material indesejável (madeiras, raízes etc).

O material retido nestes reservatórios é submetido à ação de jatos d'água para promover o segundo estágio de desagregação das partículas, conhecido como relavagem. A polpa dessa desagregação é conduzida, por tubulação, a uma peneira estática que separa o cascalho, direcionando-o para silos específicos ou para o solo. A mistura que passa é conduzida, por meio de calhas, a outros silos, onde a areia é acumulada e os finos em suspensão são descartados. Após o enchimento dos silos de areia, faz-se o seu desaguamento e o descarte do restante dos finos, através de filtros tubulares verticais instalados no interior destes (Figura 22).

Observam-se situações idênticas às da rede de transporte interno, isto é, são freqüentes o emprego de conexões pouco adequadas e a fuga de areia durante o enchimento dos tanques baixos e dos silos, bem como durante o desaguamento.



Figura 22: Reservatório para classificação da areia e eliminação de finos.

Fonte: trabalho de campo.

As instalações e equipamentos utilizados para a lavra e beneficiamento da areia da área estudada são mal dimensionados ou inadequados pelo fato da mineração de areia operar com técnicas geralmente obsoletas.

É comum o uso de motobombas durante a lavra de areia, principalmente nas dragas, uma vez que o desmonte não é seletivo. Por esta razão, trabalha-se com o tamanho máximo de partículas para efeito de dimensionamento dos equipamentos de transporte por bombeamento. A escolha do tipo de equipamento recai, em geral, em bombas de cascalho, principalmente para a primeira dragagem em que o material apresenta baixa seleção. Nas operações de desmonte e reciclagem de água clarificada, são utilizadas, ainda, motobombas de água, constituindo o primeiro estágio da seleção da areia para uso imediato na construção civil de acordo com o tamanho das partículas.

Um tipo de equipamento bastante utilizado para o beneficiamento da areia são as motobombas geralmente produzidas em pequenas fábricas, tradicionais fornecedoras de equipamento para areeiros.

São utilizados dois tipos de bomba de cascalho: aquelas em que a tubulação é inteiriça e aquelas em que esta parte é formada por segmentos que possuem emendas de borracha ou chapas de metal soldadas. De acordo com os usuários, as primeiras apresentam facilidade na troca do revestimento e melhor rendimento, enquanto as outras oferecem a possibilidade de substituição somente dos segmentos mais desgastados.

Os motores utilizados usam diesel como combustível e apresentam potências relativamente altas para compensar as bombas de cascalho que são de baixo rendimento, em particular as empregadas nos areeiros estudados. Nas visitas foram observados motores de 80 a 180 HP. As mudanças de rotação dos motores em decorrência das variações na alimentação são comandadas por variador automático ou acelerador manual nos motores a diesel. O acoplamento com os motores de maior potência é feito por polias e embreagem industrial ou por junta elástica; com os motores mais simples, por caixas de câmbio e embreagens de caminhões adaptadas.

Outro tipo de equipamento utilizado no processo de seleção da areia é o reservatório de concentração primária, também conhecido como tanque baixo, que recebe a mistura recalçada da bacia de captação do piso da cava. Este reservatório construído de chapas de metal é dividido em duas partes, utilizadas alternadamente. Cada parte possui um

vertedouro retangular a jusante, que permite o alçamento progressivo durante o enchimento, por meio de encaixes sucessivos de sarrafos de madeira. O descarte dos finos ocorre pelo vertedouro e a retenção dos grossos no reservatório.

Os silos encontrados nas plantas de beneficiamento de areia do alto curso do rio Iguaçu têm a forma cúbica, com fundo em tronco de pirâmide, provido de uma tampa. São construídos com chapas de aço de 4,8 mm de espessura e com capacidade de 25 a 35 m³.

Os silos são apoiados em uma base estrutural construída de placas de aço. Todas as junções da estrutura são fixadas por parafusos e porcas, o que facilita a montagem e a desmontagem, quando há necessidade de mudança do local de instalação dos silos. As estruturas são projetadas para comportar uma ou duas filas de silos. Nos silos, há uma caixa construída com chapas de aço, contendo uma peneira inclinada estática ("chamada localmente de grelha"), com aberturas de 4,8 mm ou 6,4 mm, para retenção de pedriscos (que podem ou não ser armazenados) e aglomerados de argila, etc.

Os materiais de maiores dimensões (aglomerados de argila, pedregulhos, troncos, raízes, etc.) são normalmente retidos antes da transferência da mistura ao reservatório de concentração primária (tanque baixo), por meio de peneiras com aberturas de 12,7 mm a 25,4 mm, muitas vezes com fios trançados (Figura 23).



Figura 23: Detalhe da peneira de separação de areia.

Fonte: trabalho de campo.

Existem calhas construídas com chapas de aço apoiadas nos silos, e abaixo da caixa com a peneira. Estas calhas destinam-se a receber, transportar e distribuir a mistura pré-selecionada, alimentando os silos. Possuem dispositivos de bloqueio, permitindo que a alimentação seja feita em um silo por vez.

O transporte de mistura e de água é realizado através de tubos de aço com diâmetros de 101,6; 152,4 e 203,2 mm, podendo chegar a 304,8 mm quando há necessidade de bombeamento a longas distâncias.

O comprimento mais comum dos tubos de diâmetros menores é de 6 metros, podendo ser menor nos tubos de diâmetros maiores. As paredes destes tubos têm geralmente espessuras de 3,2 mm para o transporte de água e de 6,4 mm para o de mistura, devido ao maior desgaste por abrasão.

A junção dos tubos é feita por flanges (braçadeiras) e juntas de borracha; os flanges têm seis ou oito furos. As de oito furos são as mais indicadas para o transporte de mistura, pois permitem a rotação dos tubos para controlar as espessuras das paredes ante a abrasão.

As curvas, derivações e outras conexões são geralmente confeccionadas nas próprias minas, mediante o corte de seções de tubos e de soldagem. É comum o uso incorreto ou a má instalação de tubos e conexões, acarretando o vazamento de areia e perdas de carga desnecessárias.

Nas operações de beneficiamento de areia, tubulações com diâmetro de 152,4 mm ou 203,2 mm recebem divisores de fluxo, geralmente com três saídas, onde são acopladas mangueiras de borracha providas de bocais de metal. As três saídas permitem realizar uma frente de lavra de areia em locais diferentes.

A água necessária para o descarte de finos durante o processo de beneficiamento da areia é retirada do interior das cavas mediante o uso de motobombas que são instaladas sobre estruturas acopladas a uma embarcação com flutuadores. Isto se deve a motivos operacionais, como na captação de água limpa, cujo nível varia; ou é recomendável como forma de proteger o equipamento contra eventuais inundações. A embarcação apresenta também uma cobertura com telhas para evitar que a água da chuva danifique a motobomba.

Ao conjunto flutuador e motobomba dá-se o nome genérico de draga, independentemente de sua função (Figura 24).



Figura 24: Motobomba: embarcação com draga em uma cava de areia inundada.

Fonte: trabalho de campo.

Nas minerações em cava submersa, a draga vem a ser uma estrutura embarcada (que recebe o nome popular de pontão) com dimensões e capacidade necessária para comportar a operação de equipamentos pesados. Os flutuadores das barcas de transporte são compartimentos estanques, construídos na proa e na popa da embarcação.

Estas espécies de barcas são construídas em vários formatos, com casco de chapas de aço e capacidade de até 40 m³ de areia. A dragagem é realizada em cavas inundadas localizadas no terraço fluvial do rio Iguaçu. A água dragada por sucção é utilizada para o primeiro estágio de seleção da areia e separação dos finos nos reservatórios de concentração primária.

6.1.7. Disposição de rejeitos

A disposição de rejeitos consiste em uma operação que, além do objetivo precípua de reter as partículas descartadas nos tanques baixos, nos silos e nos seus filtros, destina-se à clarificação de água, ao jateamento dos tanques baixos e à criação de sítios adequados para a recuperação de áreas degradadas.

A retenção dos rejeitos faz-se em cavas mineradas ou em barragens construídas, inclusive nestas cavas. A maioria possui superfícies amplas, suficientes para proporcionar

ambiente calmo para a decantação das partículas. As barragens e canais de escoamento da água são construídos com o material do decapeamento e o material descartado na cava e no beneficiamento (solos, fragmentos não-desagregados, torrões de argila). São utilizados nesta operação os equipamentos de terraplenagem disponíveis nos areeiros.

A camada de argila sobreposta à camada ou lente de areia constitui o rejeito do processo de lavra nas minas da região do alto curso do rio Iguaçu. As espessuras desta camada de argila se apresentam de 0,30 a 1,20 m.

As pilhas de rejeito resultantes dos avanços no trabalho de lavra são depositadas no limite entre o terraço e a planície fluvial do rio Iguaçu. Tal procedimento é adotado com o objetivo de se evitar a inundação das cavas que apresentam atividade de lavra, principalmente durante as cheias de verão. A retenção de rejeitos e a clarificação da água são, em geral, efetivas, mas as construções dos reservatórios são pouco eficientes, detectando-se casos de rompimentos das barragens.

Vale ressaltar que não foi constatado em nenhum areeiro da área de estudo o uso de argila para fins econômicos. O material argiloso constitui rejeito (Figura 25). Não obstante, diversas olarias da região utilizam argilas para a fabricação de telhas e tijolos, provenientes de outras fontes.



Figura 25: Pilhas de rejeito de material argiloso da frente de lavra.
Fonte: trabalho de campo.

6.1.8 Estocagem da areia

A armazenagem de areia nos silos visa, sobretudo, estocá-la com o objetivo de proporcionar um abastecimento contínuo e homogêneo do mercado consumidor. Evitam-se problemas que poderiam ser causados pela suspensão temporária da lavra que ocorre com frequência durante a manutenção de equipamentos, construção de barragens, acidentes, poluição ambiental etc. Em alguns casos, a estocagem é necessária para acomodar a produção excedente que permanece à espera de demanda.

As pilhas de estoque estão localizadas próximas de taludes naturais ou em cavas no terreno, para evitar o uso de trator ou de pá carregadeira na formação das pilhas e a erosão e o arraste eólico das partículas. A areia explotada na região do alto curso do rio Iguaçu é separada granulometricamente em fração fina, média, grossa e pedrisco, sendo empregada no setor de construção civil da RMC. Estas características serão abordadas com maiores detalhes no item 6.2.

6.1.9 Operações auxiliares

Além das operações citadas, há, entre outras, a construção e manutenção de barragens e a recuperação de áreas mineradas, além das atividades de manutenção e lavagem de equipamentos e adequação/disposição de resíduos (lixo, sucata, óleos, graxas, etc.) que podem influir com maior ou menor intensidade na recuperação do meio ambiente e otimização do processo de lavra.

Os equipamentos usados no decapeamento, construção de barragens e serviços auxiliares de desmonte variam muito de acordo com as situações e com o ritmo de dimensionamento da produção a que são submetidos. São utilizados os seguintes equipamentos: dragas com pá de arraste no decapeamento de médias e grandes minas; pás carregadeiras dotadas de esteiras e, caminhões basculantes de 4 a 5 m³, nas construções de barragens e em serviços auxiliares; retroescavadeiras de esteiras na escavação e remoção de rochas resistentes ao desmonte hidráulico e na abertura de canais; tratores de esteiras e pás carregadeiras no transporte de areia para os caminhões e na construção de barragens mediante pilhas de rejeito, além da abertura de vias de acesso entre as áreas de lavra e o pátio de depósito de areia.

6.2. CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS DO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

Foram selecionados dois areeiros típicos para que servissem de área piloto de amostragem. Na Tabela 15 estão representadas as características de amostras de areia coletadas em diferentes horizontes dos depósitos dos areiros Durau e Itabaúna localizados na região do alto curso do rio Iguaçu.

Tabela 15: Quadro-resumo descritivo das características de amostras de areia de depósitos típicos da área de estudo.

AMOSTRA	COR	PROVENIÊNCIA	ALTITUDE	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA
Amostra do tipo 01: P1	Amarelo escuro Horizonte basal B	Areeiro Itabaúna: município de Lapa/PR	872 m.	25°36'42,5" S 49°36'34,6" W
Amostra do tipo 02: P2	Amarelo claro Horizonte intermediário A	Areeiro Itabaúna: município de Lapa/PR	880 m.	25°36'37,3" S 49°36'29" W
Amostra do tipo 03: P3	Cinza claro Horizonte superior B	Areeiro Itabaúna: município de Lapa/PR	873 m.	25°36'39,3" S 49°37'05" W
Amostra do tipo 04: P4	Verde escuro (dique de micro-gabro alterado) Horizonte intermediário B	Areeiro Durau: município de Balsa Nova/PR	896 m.	25°35'51,9" S 49°40'46,5" W
Amostra do tipo 05: P5	Amarelo escuro Horizonte basal A	Areeiro Durau: município de Balsa Nova/PR	872 m.	25°35'51,9" S 49°40'46,5" W
Amostra do tipo 06: P6	Amarelo claro Coletada de pilha de estocagem abandonada	Areeiro desativado: 1,5 km da cidade de Balsa Nova/PR	898 m.	25°35'47,6" S 49°38'20,6" W

Os pontos em que foram realizadas as coletas de amostras encontram-se assinalados na Figura 26:

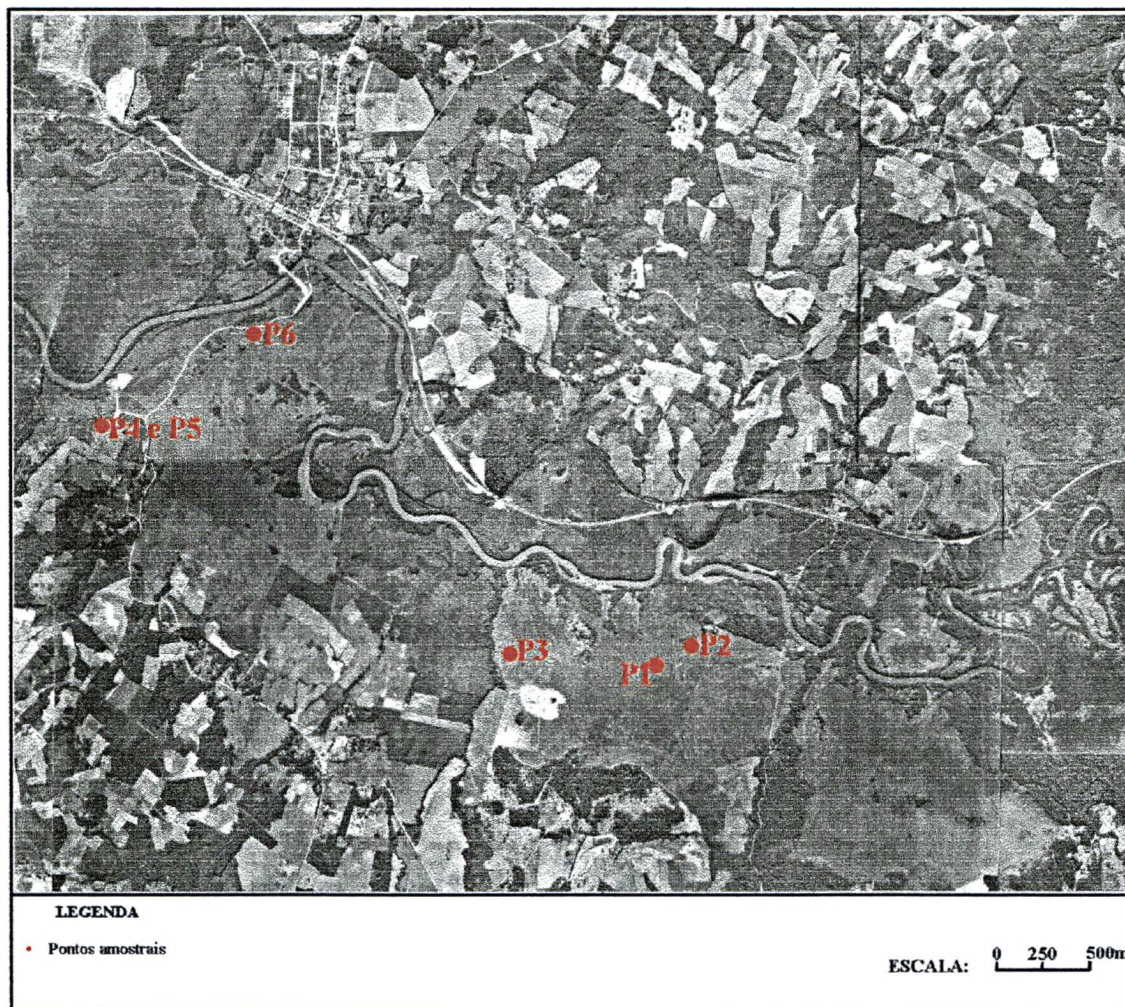


Figura 26: Localização dos pontos de coleta de amostra de areia na região do alto curso do rio Iguaçu, municípios de Balsa Nova e Lapa/PR.

Fonte: Foto aérea do ITC/DENGE – Projeto Paraná, 1980.

Apresenta-se na Figura 27 a coluna estratigráfica representativa dos depósitos de areia na região do alto curso do rio Iguaçu. O perfil analisado representa o talude de uma cava de areia na frente de lavra do areeiro Durau, empresa de mineração de areia localizada no município de Balsa Nova, onde foram coletadas as amostras P4 e P5 conforme ilustra a Figura 26.

O perfil apresenta aproximadamente 4,30m de espessura onde foram identificadas 05 camadas a partir de diferenças na cor, granulometria e composição descritas na Figura 27. Cumpre destacar que não foi possível delimitar a base da última camada do perfil, uma vez que a cava de areia encontrava-se parcialmente inundada.

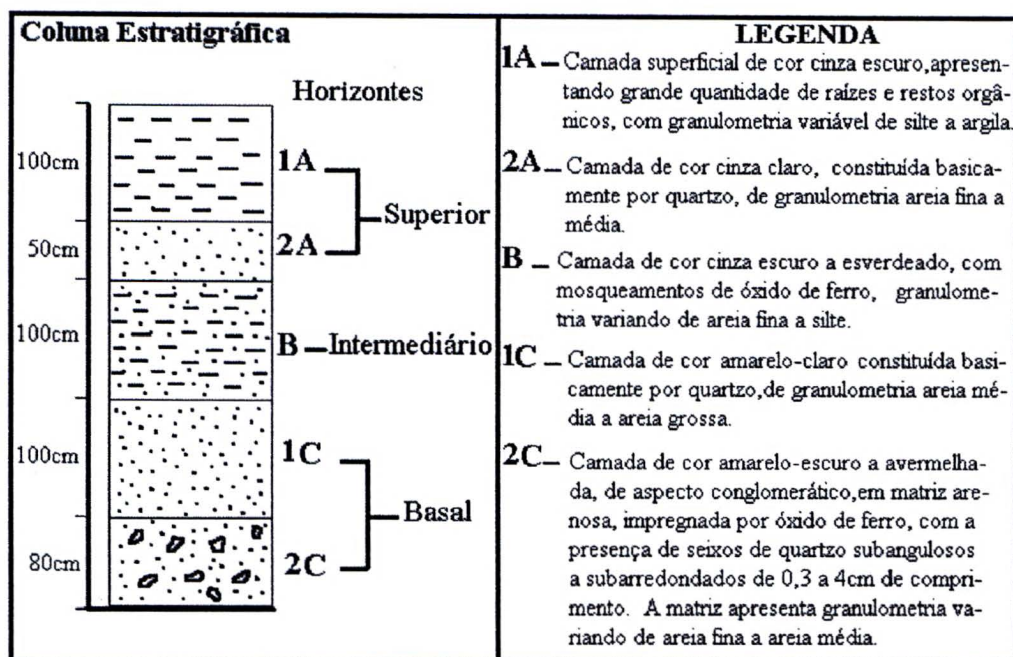


Figura 27: Coluna estratigráfica representativa dos depósitos de areia na região do alto curso do rio Iguaçu.

A Figura 28 ilustra a coluna estratigráfica representativa dos depósitos de areia esquematizada na Figura 27.



Figura 28: Estratigrafia de cava de areia em frente de lavra - areeiro Durau, município de Balsa Nova/PR.

Fonte: trabalho de campo.

As amostras de areia coletadas em campo foram submetidas a ensaios laboratoriais que visaram identificar as características granulométricas e os teores de quartzo e feldspato das areias dos horizontes selecionados e representativos dos depósitos da região do alto curso do rio Iguaçu.

As amostras de areia foram analisadas no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da USP e do Departamento de Geologia da UFPR. Inicialmente foi efetuada uma análise granulométrica por pipetagem e peneiramento mediante jogo completo de peneiras. As amostras de areia foram submetidas a análises de acordo com as normas da ABNT, seguindo-se as especificações recomendadas na NBR 7217 (Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados) e na NBR 7389 (Apreciação Petrográfica de Agregados). Os resultados da caracterização granulométrica das amostras coletadas encontram-se consubstanciados no anexo.

Vários fatores podem interferir na qualidade da areia enquanto agregado para uso na construção civil. Como a areia é um produto de processos naturais de intemperismo, as propriedades dos agregados dependem das características físicas, químicas e mineralógicas da rocha de origem.

A caracterização mineralógica das areias do alto curso do rio Iguaçu ajuda no reconhecimento das propriedades das areias e também fornece subsídios quanto ao desempenho estrutural e químico no concreto e da qualidade da argamassa.

Conforme recomenda NEVILLE (1997), não é viável o uso de agregados provenientes de rochas friáveis, porosas e nem as que contêm nódulos de pirita, gesso e compostos ferrosos.

À continuação apresenta-se uma classificação de minerais por ordem de preferência e recomendação quanto ao uso como agregado na construção civil:

1. minerais de sílica (quartzo, calcedônia, opala, tridimita, cristobalita);
2. feldspatos;
3. minerais ferromagnesianos;
4. minerais argilosos;
5. zeólitas;
6. minerais carbonáticos;
7. minerais sulfatados;

8. minerais de sulfetos de ferro e,
9. óxidos de ferro.

Conforme resultado da análise mineralógica, as amostras 03, 05 e 06 (Tabela 15) apresentam maiores teores de quartzo e feldspato em relação às demais, portanto, de melhor qualidade para uso em construção civil. Por outro lado, as amostras 01, 02 e 04 têm qualidade inadequada por apresentarem um excesso de minerais de argila e minerais carbonáticos que interferem negativamente no processo de hidratação da areia com o cimento.

Do ponto de vista da forma, a eficiência da areia como agregado para a construção civil pode ser determinada pela porcentagem de vazios que o material apresenta quando misturado com cimento (CANÓVAS, 1988). De modo geral, quanto mais arredondado for o agregado, menor será a quantidade de espaços vazios existentes no concreto. Dentre todas as amostras de areia observadas no laboratório, a 01 e a 06 revelaram grandes vantagens econômicas pela redução no uso de cimento por metro cúbico de areia. Tais amostras são adequadas para preparação de concreto e trabalhos de acabamento em construção civil, como por exemplo, o reboco de parede.

A qualidade da areia para uso em construção civil consiste em se obter granulometria adequada com pelo menos dois tipos de tamanhos comerciais: areia (agregado miúdo com tamanho menor que 5mm) e pedra brita ou cascalho (agregado graúdo com dimensão maior que 5mm) conforme expõe NEVILLE (1997).

Os agregados utilizados no setor de construção civil, dentre eles a areia, entram na composição do concreto numa proporção que oscila entre 70 e 80 % do seu volume. Ignorar o problema de granulometria ou remediá-lo com soluções aproximadas pode criar problemas nos concretos, formando porções com excesso de pedra em alguns locais da estrutura.

Quanto aos agregados finos, particularmente a areia, as frações com tamanho inferior a 0,15 mm e, especialmente aqueles grãos que têm finura comparável ao cimento são perniciosos para o concreto, principalmente quando utilizados em uma proporção excessiva. Dada à grande superfície específica dos finos, eles requerem muita água para

molhá-los, conseqüentemente diminuindo a água necessária ao cimento provocando sua hidratação incompleta e, portanto, enfraquecendo o concreto.

Um importante requisito quanto à granulometria se refere à trabalhabilidade do concreto e para que a mistura da areia e de outros agregados com o cimento seja satisfatoriamente coesiva ela deve conter uma quantidade razoável de material passante na peneira de 3mm. Se a granulometria das areias for deficiente em partículas finas, o aumento da relação agregado-graúdo/agregado-miúdo pode não mostrar uma solução satisfatória, resultando em um excesso de tamanhos médios e uma mistura áspera (mistura áspera é aquela em que há um excesso de material de uma determinada granulometria).

Uma granulometria adequada para a preparação do concreto com areia deve ser aquela que garanta a trabalhabilidade do material. A trabalhabilidade influencia nas demandas de água e cimento, controla a segregação, tem algum efeito sobre a exsudação e também influencia no lançamento, resistência, retração, durabilidade e acabamento do concreto.

O mais importante é que não haja grandes variações na granulometria. Excesso de agregados com granulometria 1,20 a 4,76mm (grânulos e/ou seixos) ou escassez de agregados com fração granulométrica compreendido entre 0,15 e 2,40mm (areia fina e areia média) resulta em um concreto áspero, com pequena capacidade de trabalhabilidade e plasticidade, de modo geral pouco compactado e susceptíveis ao ataque dos agentes intempéricos.

Não é recomendável utilizar grânulos e/ou seixos com tamanho maior que 4,0mm, muito embora o uso de agregados de maior dimensão, apesar de economicamente vantajoso, diminui sensivelmente o desempenho e a qualidade do concreto. Em grandes obras é recomendável o uso de agregados maiores enquanto que em obras de pequeno porte, o uso de agregados menores do tipo areia é econômico pois em geral demandam menos concreto.

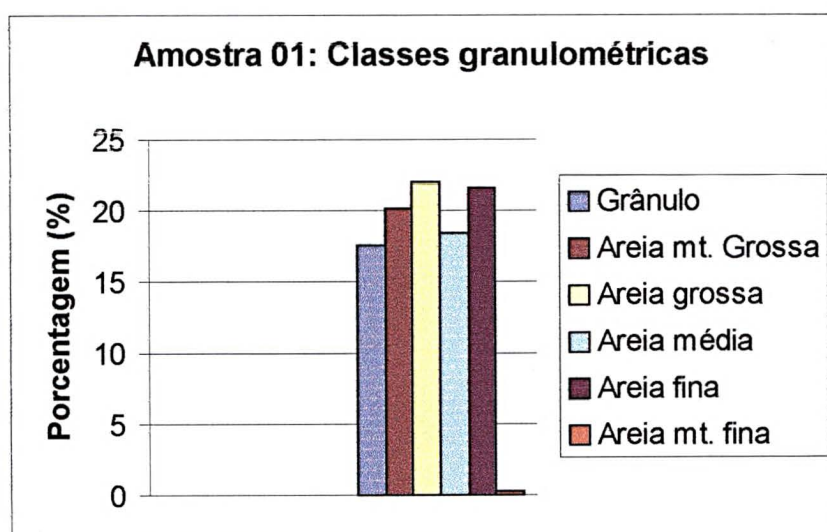
A Tabela 16 mostra os valores existentes entre os intervalos das diversas classes granulométricas utilizadas para a caracterização e descrição das amostras de areia coletadas na área de estudo.

Tabela 16 : Intervalos entre as classes granulométricas.

Granulometria (mm)	Classes granulométricas (Wentworth)
4,000 - 2,830	grânulo
2,830 - 2,000	grânulo
2,000 - 1,410	areia muito grossa
1,410 - 1,000	areia muito grossa
1,000 - 0,707	areia grossa
0,707 - 0,500	areia grossa
0,500 - 0,354	areia média
0,354 - 0,250	areia média
0,250 - 0,177	areia fina
0,177 - 0,125	areia fina
0,125 - 0,088	areia muito fina
0,088 - 0,062	areia muito fina
<0,062	silte/argila

Fonte: modificado de SUGUIO (1973).

A amostra 01 apresenta evidente homogeneidade das classes granulométricas em termos de porcentagem em relação ao peso total da amostra, excetuando-se a classe de areia muito fina que se encontra muito abaixo da média percentual geral (Figura 29).

**Figura 29: Classes granulométricas em % - Amostra tipo 01**

A areia da amostra 01 atende às especificações técnicas para uso como agregado em construção civil porque apresenta um equilíbrio entre os valores das porcentagens de areia grossa (21,99%) e areia fina (21,58%). A classe de areia fina aparece em quantidade

inexpressiva no peso total da amostra e não representa um fator negativo que comprometa a qualidade da areia no que se refere ao excesso de agregados finos (CANÓVAS, 1988).

Pelo fato de reunir tais características, a areia da amostra 01 possui alta trabalhabilidade e grande reatividade com o cimento, sendo recomendada para preparação de concreto e também de argamassa em trabalhos de acabamento.

Na areia representada pela amostra 02 predomina a classe granulométrica de grânulos (diâmetro superior a 2 mm) em contraste com o número reduzido de finos como exibe o gráfico da Figura 30.

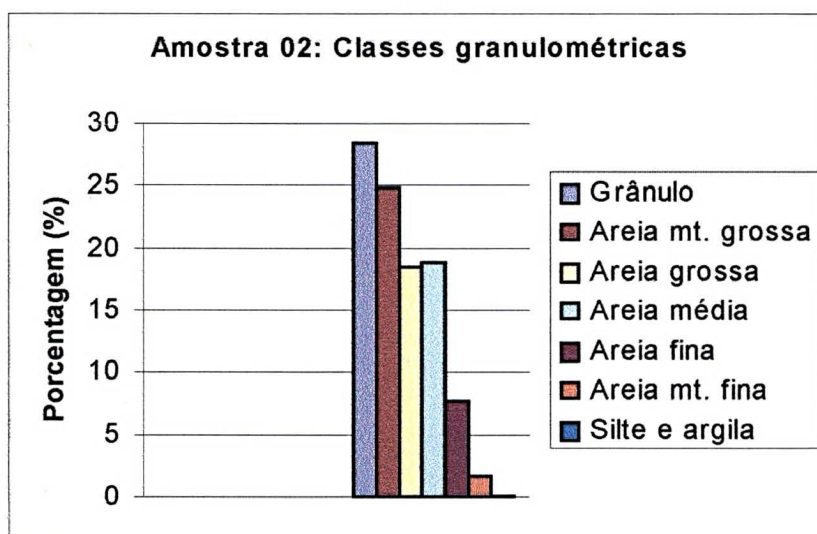


Figura 30: Classes granulométricas em % - Amostra tipo 02

O excesso de material grosseiro (classe grânulo e areia muito grossa) existente na amostra 02 interfere negativamente na trabalhabilidade do material, resultando num concreto áspero e mais susceptível ao intemperismo não sendo recomendado para trabalhos de acabamento e nem tampouco para produção de pasta de cimento. Por estas razões, esta areia não possui uma qualidade adequada para uso na construção civil.

Na areia da amostra 03, os resultados obtidos a partir da análise granulométrica revelam o predomínio relativo de frações grosseiras (grânulos e areia grossa) em relação aos sedimentos finos, como pode-se notar no gráfico da Figura 31.

Cumprе ressaltar que, muito embora os valores percentuais das frações finas encontrem-se abaixo da média das frações grosseiras, a proporção de finos indica uma média ou padrão aceitável em relação ao peso total da amostra do tipo 03.

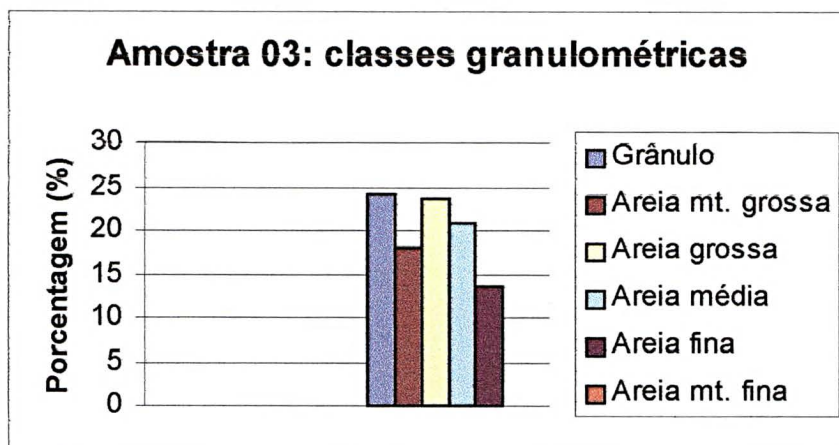


Figura 31: Classes granulométricas em % - Amostra tipo 03

Pelo fato de apresentar uma menor proporção de frações granulométricas finas, a areia da amostra 03 não deve ser utilizada em trabalhos de acabamento em construção civil, sendo, contudo, recomendada para produção de concreto pelo fato de conter uma quantidade expressiva de frações granulométricas passante na peneira 3,0 mm.

O tipo de areia representado pela amostra 04 possui uma grande quantidade de frações granulométricas finas (Figura 32). Trata-se de um sedimento areno-argiloso de cor verde-escura, sendo considerado como rejeito do processo de lavra de areia.

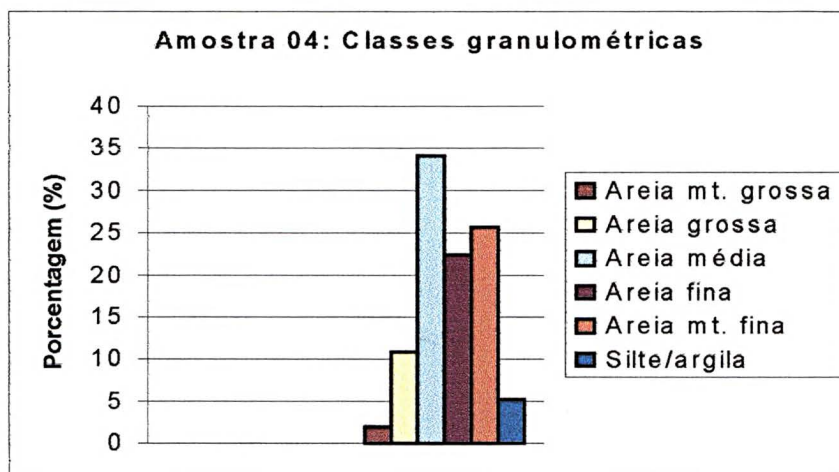


Figura 32: Classes granulométricas em % - Amostra tipo 04

O gráfico da Figura 32 mostra que as classes de areia grossa a muito grossa constituem frações granulométricas pouco expressivas em termos percentuais em relação ao peso total da amostra. Na amostra 04 não há grânulos e as classes de areia média, areia fina

e areia muito fina predominam no conjunto, enquanto que as frações de silte e argila superam a quantidade de areia muito grossa.

A areia da amostra 04 é imprópria para produção de concreto e qualquer outro tipo de atividade em construção civil porque o excesso de areia muito fina, silte e argila interfere no processo de hidratação com o cimento. De acordo com CANÓVAS (1988), o limite aceitável é de 1,5 a 5 % de argila no total do peso da amostra e a areia representada pela amostra 04 exibe 5,14 % na fração silte/argila.

Evidentemente podem existir outros usos econômicos para a areia da amostra 04 que não seja como agregado para a construção civil. Observa-se um subaproveitamento do material, que presentemente é utilizado como rejeito do processo de lavra na construção de diques marginais à calha do rio Iguaçu com o objetivo de evitar o alagamento das cavas de areia.

O alto teor de sedimentos finos, particularmente silte e argila, por exemplo, indica que a areia da amostra 04 poderia ser utilizada na fabricação de tijolos e telhas, possibilitando, inclusive, o desenvolvimento de uma atividade econômica alternativa como fonte de renda e emprego para a população local.

Na amostra 05 predomina a classe de areia média, com o equivalente a 52 % do peso total da amostra em contraste com quantidade escassa de finos bem como a inexistência de silte e argila (Figura 33).

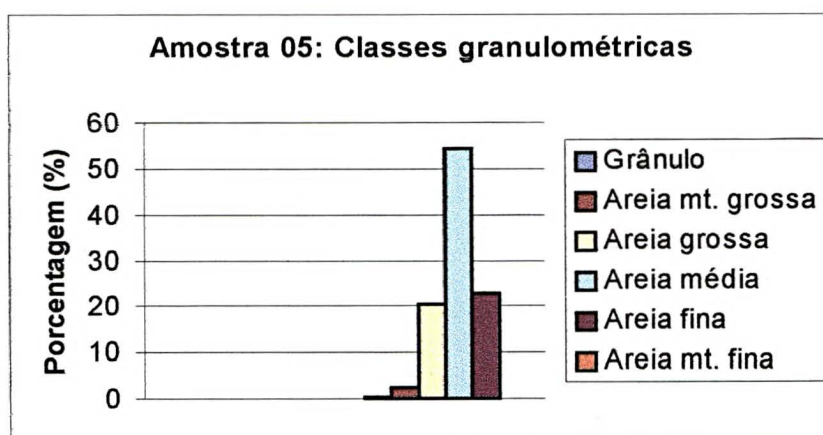


Figura 33: Classes granulométricas em % - Amostra tipo 05

Os resultados obtidos através da análise granulométrica revelam que a areia do tipo da amostra 05 pode ser utilizada na preparação do concreto por não apresentar grande

quantidade de finos que possa interferir no processo de hidratação com o cimento. No entanto, a escassez de material grosseiro (grânulos e areia grossa) pode reduzir a durabilidade e resistência do concreto, necessitando, portanto, de um ajuste com aumento na proporção agregado graúdo com relação ao cimento na mistura.

Além disso, a ausência quase total de grânulos e a elevada presença de areia média garantem a trabalhabilidade do material bem como o uso deste tipo de agregado para acabamento de construção civil sob a forma de reboco ou chapisco de parede.

A areia da amostra 06 apresenta uma elevada porcentagem de grânulos em contraste com os índices de silte/argila e areia muito fina que se encontram abaixo dos valores percentuais das demais classes granulométricas (Figura 34).

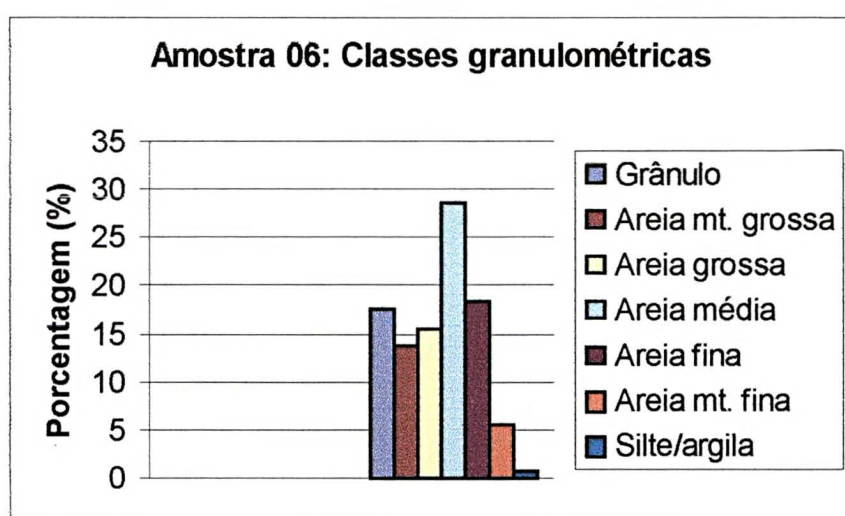


Figura 34: Classes granulométricas em % - Amostra tipo 06

Pelas análises efetuadas na amostra 06, muito embora a quantidade de sedimentos finos não supere a de sedimentos grosseiros, a presença de areia média em porcentagem elevada (28%) equilibra a relação quantitativa agregado-graúdo/agregado-miúdo necessária ao bom desempenho estrutural do concreto.

O material da amostra 06 pode ser misturado ao cimento pois o baixo índice de silte e argila presente no material garante um concreto de boa qualidade.

Salienta-se que a elevada presença de grânulos em porcentagem superior ao de areia grossa na amostra do tipo 06 impede o uso do material para trabalhos de acabamento em rebocos e produção de pasta de cimento para assentar tijolos. Recomenda-se, também, o

uso do material para chapisco em razão da elevada presença de areia média contida na amostra.

O gráfico da Figura 35 exibe a comparação dos diversos gráficos das classes granulométricas para os diversos horizontes que integram os depósitos de areia da área em estudo.

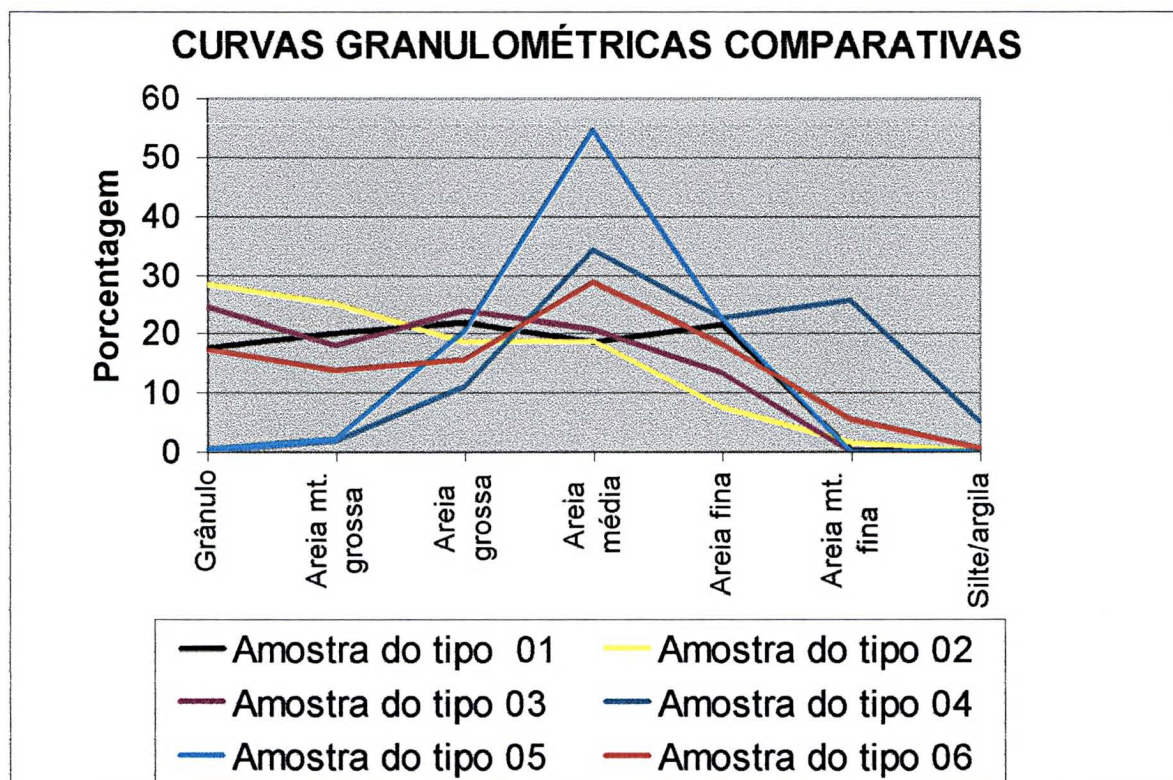


Figura 35: Curvas granulométricas comparativas das amostras de areia do alto curso do rio Iguaçu/PR.

A Tabela 17 apresenta um resumo descritivo dos principais resultados obtidos a partir da análise granulométrica efetuada nas amostras de areia representativas dos diversos horizontes dos depósitos de areia da área de estudo:

Tabela 17: Principais características e recomendações quanto ao uso e aplicação das areias da região do alto curso do rio Iguaçu/PR

Horizontes	Características principais	Classe granulométrica predominante	Usos e aplicações	Recomendações e restrições
Amostra do tipo 01 Horizonte basal B	Equilíbrio entre as frações de areia grossa e areia fina.	Areia grossa	Produção de concreto, reboco, chapisco e preparação de pasta de cimento para assentar tijolos.	Atende às normas técnicas para o uso como agregado na construção civil.
Amostra do tipo 02 Horizonte intermediário A	Excesso de fração grosseira	Grânulos	Não recomendado para uso na construção civil	Necessita de ajuste na relação quantitativa agregado graúdo/agregado miúdo.
Amostra do tipo 03 Horizonte superior B	Escassez de finos, equilíbrio na relação areia grossa/areia média	Grânulos e areia grossa	Produção de concreto.	Não é recomendado para trabalhos de acabamento em construção civil.
Amostra do tipo 04 Horizonte intermediário B	Excesso de finos	Areia média e areia muito fina	Não recomendado para uso na construção civil	Recomenda-se a utilização do material para a fabricação de tijolos e telhas.
Amostra do tipo 05 Horizonte basal A	Excesso de areia média e escassez de finos	Areia média	Reboco, chapisco e preparação de pasta de cimento para assentar tijolos.	Necessita de ajuste na relação quantitativa agregado graúdo/agregado miúdo.
Amostra do tipo 06 Coletada de pilha de estocagem abandonada	Excesso de grânulos e areia média	Areia média	Chapisco e produção de concreto	Necessita de uma redução do percentual de grânulos para que o material possa ser utilizado em reboco e preparação de pasta de cimento.

Do ponto de vista qualitativo, a matéria orgânica presente na areia também consiste em outro aspecto que pode comprometer a qualidade do concreto pelo fato de interferir no processo de hidratação com o cimento.

A Tabela 18 exhibe os diversos tipos de substâncias deleterias que interferem na qualidade da areia como agregado para uso em construção civil.

Tabela 18: Substâncias prejudiciais contidas nos agregados para construção civil.

SUBSTÂNCIAS PREJUDICIAIS	Quantidade máxima aceitável (% EM PESO)	
	AREIA	CASCALHO
Torrões de argila.	1,50	3,00
Partículas friáveis (material pulverulento).	3,00	5,00
Finos que passam pela peneira 0,08 .	5,00	1,00
Material retido pela peneira 0,063 e que flutua em um líquido de peso específico 2,0.	0,50	1,00
Impureza orgânica.	300 ppm	-
Material carbonoso.	1,00	1,0
Compostos de enxofre expressos em $\text{SO}_4^{=}$ e referentes ao agregado seco.	1,20	1,20

Fonte: Adaptado de CANÓVAS (1988).

Nos agregados, a matéria orgânica é formada por argila orgânica e húmus. Esses materiais são encontrados com maior frequência nos agregados de granulometria do tipo areia do que nos agregados graúdos, que são facilmente laváveis durante o processo de beneficiamento. Por esta razão, torna-se necessária a avaliação quantitativa em termos de porcentagem de argila e silte contida nas areias do alto curso do rio Iguaçu empregada no setor de construção civil da Região Metropolitana de Curitiba.

A argila e outros materiais finos podem estar presentes na areia sob a forma de películas superficiais que podem interferir entre a aderência do agregado com a pasta de cimento conforme destaca CANÓVAS (op cit).

De acordo com a análise granulométrica por peneiramento e pipetagem, as amostras 02, 04 e 06 contêm argila em sua composição(ver Figura 35). A amostra do tipo 02 exhibe 0,08 % de silte/argila e 0,62 % de areia muito fina enquanto que a amostra do tipo 06 apresenta uma porcentagem de silte/argila de 0,69% e areia muito fina (2,06%) (ver anexo). Conclui-se que a areia das amostras tipo 02 e 06 encontram-se dentro dos padrões aceitáveis e exigidos pelas especificações técnicas para uso dos agregados na construção civil. Por outro lado, cumpre destacar que, dentre todas as amostras, a 04 é a que mais contém material do tipo areia muito fina (25,68 %) e silte/argila (5,14 %) que passa pela peneira 0,08mm (ver Tabela 18).

O excesso de finos na areia da amostra 04 revela que o material não é indicado para uso na construção civil (Tabela 18). As porcentagens de silte/argila encontram-se acima dos limites exigidos, o que interfere no processo de hidratação do agregado quando misturado ao cimento conforme recomenda CANÓVAS (1988).

Os resultados dos ensaios laboratoriais efetuados indicam algumas conclusões em termos de granulometria e mineralogia presentes na área estudada:

- os grãos de quartzo e feldspato (inócuos ou inertes) são predominantes, independentemente de os mesmos estarem associados aos sedimentos paleozóicos ou aos aluviões quaternários, com exceção do horizonte intermediário B, representado pela areia da amostra 04 que apresenta maior quantidade de material siltico a argiloso;
- as areias aluvionares das amostras tipo 01, 02 e 03 e a areia da amostra tipo 06, coletada de pilha de estocagem possuem maiores teores de quartzo e feldspato e também um maior percentual de material sedimentar com granulometria, em média, acima de 0,5 mm, podendo ser classificado em areia média a grossa;
- somente a areia da amostra tipo 01 atende às normas técnicas para uso como agregado na construção civil;
- a areia da amostra tipo 05 apresenta características favoráveis para o seu uso na construção civil, necessitando apenas de um ajuste na porcentagem quantitativa de agregado-graúdo/agregado-miúdo;
- os grãos de quartzo são abundantes e os feldspatos apresentam-se semi-alterados em praticamente todas as amostras, exceção feita à amostra tipo 04 que exibe grande quantidade de minerais de argila, e
- as areias das amostras tipo 01, 03 e 06 encontradas nos horizontes dos depósitos aluvionares apresentam uma significativa homogeneidade do ponto de vista granulométrico.

6.3. PRODUÇÃO

As áreas de maior produção de areia para o abastecimento do mercado de agregados da Região Metropolitana de Curitiba encontram-se nos municípios de Lapa e Balsa Nova, uma vez que as regiões tradicionais de mineração de areia (Curitiba e Araucária) sofrem

atualmente sérias restrições ambientais quanto à utilização do solo, principalmente nas áreas de mananciais hídricos que formam o sistema fluvial do rio Iguaçu.

Deve-se destacar ainda o incremento da participação da areia artificial (finos de britagem) no consumo de agregados. Como as fontes de areia natural estão se distanciando dos pontos de maior demanda, a areia artificial produzida por pedreiras da Grande Curitiba torna-se competitiva pela proximidade destas com o centro consumidor. O grande problema é que agora a maioria das áreas de consumo não são mais contíguas às áreas de produção. Tal fato pode provocar a queda no consumo de areia e o fechamento de areeiros (BORDIGNON et al. 1985).

6.4. CUSTOS E INVESTIMENTOS

O agregado custa menos do que o cimento, portanto é econômico usar menos cimento no concreto e mais agregado o quanto for possível, inclusive na preparação da argamassa. A guisa de exemplo, cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto são ocupados por agregados miúdos (areia) e agregados graúdos (cascalho ou brita) e apenas $\frac{1}{4}$ é preenchido por água e cimento (CANÓVAS, 1988).

Em função da necessidade de redução de custos e fornecimento de produtos com padrão uniforme, outro fator digno de nota é a exigência da melhoria da qualidade do concreto utilizado no setor de construção civil da RMC. As concreteiras e os fabricantes de pré-moldados estão exigindo melhor qualidade e padronização dos agregados, enfim, nos componentes e aditivos que consomem, procurando reduzir, principalmente, o consumo de cimento sem perda da qualidade do concreto.

Esse fato está induzindo uma sensível mudança no setor areeiro. As empresas de mineração estão investindo no processo de classificação da areia para a melhoria da qualidade e novas regiões foram agregadas ao mercado produtor tais como as que apresentam areias existentes no alto curso do rio Iguaçu e os arenitos que afloram na “Escarpa Devoniana” do Segundo Planalto paranaense conforme esclarecem KAEFER et al. (1988) e CRUZ (1998).

Os custos diretos da exploração de areia são condicionados pelo método de lavra e pela escala de produção nos diversos componentes: mão de obra, encargos sociais, depreciação e manutenção dos equipamentos, combustível, lubrificantes e energia elétrica.

Para BORDIGNON et al. (1985), os custos de mão de obra em 1975 representavam cerca de 60% dos custos de extração da areia. De acordo com o IPARDES, atualmente este custo permanece com a mesma proporção, posto que o aumento no preço dos combustíveis, tem sido compensado pela desvalorização do salário com reajustes abaixo da inflação associada à grande rotatividade de mão de obra.

Nos areeiros do alto Iguaçu, os custos diretos da lavra de areia se restringem ao pagamento de mão de obra, despesas com o transporte do produto mineral e amortização de maquinários. Constatou-se também que a maioria dos areeiros não investem para a melhoria da qualidade e da tecnologia de produção. Custos indiretos referem-se a despesas administrativas, impostos, taxas de licença municipal e licença ambiental, CFEM e indenização do superficiário, ou seja o proprietário do solo.

De modo geral, não existem trabalhos sistemáticos de manutenção de equipamentos e materiais utilizados nos trabalhos de lavra, fato que induz a desperdício de combustível, paralisações temporárias dos trabalhos, além de eventuais danos ao meio ambiente.

O Estado do Paraná recolheu no ano 2000 cerca de R\$ 30.452 de ICMS provenientes da venda de areia para construção civil. A CFEM do ano 2000, referente à comercialização da areia atingiu R\$ 135.715,95, ocupando a terceira posição em termos de arrecadação, sendo superada somente pela pedra brita (R\$ 148.326,30) e o calcário (R\$ 352.722,71) conforme mostram os dados do DNPM (2002).

No Estado do Paraná, embora os custos sejam variáveis em função do bem mineral (variação do CFEM) e do destino das vendas (variação do ICMS), a oneração fiscal e extrafiscal sobre o valor de venda da areia para construção civil pode chegar a 23,65 %: 18% de ICMS + 3% de CFEM + 2% de COFINS + 0,65% de PIS conforme esclarecem TEIXEIRA (1996) e FERREIRA & ALBUQUERQUE (1997).

Deve-se definir a maneira mais econômica e segura de lavar a areia. Os custos de controle e recuperação ambiental devem ser incluídos dentro da filosofia econômica global do empreendimento (RIZZO & SADOWSKI, 1985). É importante salientar que o custo da recuperação ambiental deve ser considerado como um investimento para a garantia da qualidade de vida e do desenvolvimento sustentado.

Deve-se levar em conta a qualidade da areia (características granulométricas e mineralógicas). A geometria do corpo mineral, teor, distribuição destes teores permitem

compartimentar domínios que melhor apresentam condições de exploração e subsidiar o planejamento de lavra.

Os preços da areia são controlados pela distância dos pontos de maior demanda muito embora outros fatores possam interferir no preço final do produto (qualidade da areia, grau de beneficiamento, tipo de aplicação do produto etc). A areia para construção civil, de modo geral, não é muito cara na fonte produtora. O preço médio da areia na região de Balsa Nova e Lapa/PR situa-se entre R\$ 10,00 e R\$ 12,00 o m³.

O recolhimento de impostos referentes à comercialização de areia é bastante problemático e irregular. Caminhões basculantes com capacidades de 08 a 12 m³ transportam areia pelas rodovias da RMC em diversas viagens utilizando uma única nota fiscal, burlando desta maneira a fiscalização que é pouco eficiente.

6.5. TRANSPORTE E OUTROS FATORES ECONÔMICOS

O transporte é outro fator importante quando se trata da movimentação de grandes massas de minérios, sobretudo aqueles que apresentam um baixo valor unitário como as areias para construção civil (ABREU, 1973).

Este tipo de minério deve ser produzido próximo aos centros consumidores como se verifica na análise econômica apresentada por PARK JR. (1980).

O consumo de areia por habitante no Brasil é baixíssimo, da ordem de 0,5 m³/hab/ano contra 3 a 7 m³ em países desenvolvidos. Isto mostra claramente a demanda reprimida característica do setor, exibindo uma extrema necessidade de habitações, obras viárias, de saneamento básico e infra-estrutura pública como expostó por BORDIGNON et al. (1985).

O conflito entre a mineração de areia e outras formas de uso do solo urbano na RMC vem restringindo, cada vez mais, as áreas efetivas e potenciais de produção de areia. Além da expansão urbana e da necessidade de reservar espaços para lazer e recreação, interferem com a mineração as áreas protegidas por legislação relativa à preservação de mananciais hídricos e áreas verdes.

Tais restrições vinculadas ao ritmo de crescimento da metrópole, tornam as reservas de areia mais próximas não aproveitáveis, sendo necessária a lavra em regiões cada vez mais distantes (mais de 50 km), o que produz substancial elevação no preço de venda de

qualquer produto com baixa relação preço/volume. O ponto central da área produtiva de areia, estudada nesta pesquisa, encontra-se a aproximadamente 50 km do centro de Curitiba, portanto é considerada uma área relativamente próxima do mercado consumidor. Considerando-se ainda a importância deste bem mineral para a construção civil, o imenso déficit habitacional e de infra-estrutura urbana na Grande Curitiba, fica evidente a necessidade de pesquisas de novas reservas de areia no alto curso do rio Iguaçu que possibilitem o desenvolvimento da mineração. Faz-se necessário também o desenvolvimento de estudos para a racionalização do transporte a custos compatíveis com a importância social do referido insumo.

O transporte da areia responde por cerca de 2/3 do preço final do produto, o que impõe a necessidade de produzi-la o mais próximo possível do mercado, que são os aglomerados urbanos de alta densidade. No País, 50 % da areia produzida é destinada à fabricação de concreto e os 50 % restantes a agregados diversos (VALVERDE, 1992). A RMC é o maior mercado consumidor de areia para uso imediato na construção civil do Estado do Paraná, com cerca de 14.933.570 m³ (DNPM, 2002)

A migração de áreas tradicionais de produção de areia para regiões periféricas ao mercado de consumo da RMC pode gerar o encarecimento desse bem mineral. A diferença de preço chega a 60 % em média do valor praticado na fonte produtora (areeiro) que se situa em torno de R\$ 10,00 a R\$ 12,00 / m³ em relação às lojas de material de construção de Campo Largo e Curitiba, por exemplo, onde o preço médio da areia é de R\$ 16,00 a R\$ 20,00 / m³.

Nos areiros do alto curso do rio Iguaçu, o transporte da areia resume-se na sua expedição ou transferência para silos nos pátios de estoque. No primeiro caso, a areia é escoada diretamente dos silos às caçambas dos caminhões de expedição; no segundo às caçambas de caminhões basculantes que a transportam às pilhas de estoque. A retomada destas pilhas para a expedição em outros caminhões é feita mediante pá carregadeira.

O transporte de areia do alto curso do rio Iguaçu para a RMC é realizado, em sua maior parte, por caminhões com capacidade de 20 m³ correspondente a aproximadamente 32 toneladas, tipo semi-reboque, composto de um cavalo mecânico e uma carreta dotada de basculante, com eixo triplo, próprio para este tipo de carga. O volume usualmente transportado pelas carretas chega a 30 metros cúbicos, o que representa 48 toneladas. Esse

volume é bem superior ao permitido por lei (em torno de 17 m³ ou 27 ton) para a carreta basculante com eixo triplo.

São também utilizados, em proporção sensivelmente mais baixa, caminhões de menor porte, com eixo traseiro duplo ou até mesmo eixo traseiro simples e carroceira do tipo basculante. Em geral, esses veículos menores são empregados para transporte em distâncias rodoviárias mais curtas e para a distribuição física no meio urbano, para vendas no varejo.

Na RMC, com frequência, a frota pertence ao atacadista que, às vezes, também detém alguma participação na lavra de areia.

Algumas empresas realizam o transporte de areia em duas etapas, ou seja, transportam a areia desde a mina até um galpão de armazenamento nas cidades por meio de carretas e, numa segunda etapa, até o consumidor, utilizando caminhões menores, mais adequados ao tráfego urbano. Para o caso de entrega de areia a consumidores de maior porte, tais como empresas de concretagem, ou mesmo para grandes obras, em que os volumes utilizados periodicamente superam a capacidade dos veículos de carga, o transporte de areia é feito utilizando as carretas e a entrega usualmente é direta da mina ao consumidor, desde que o local de destino apresente condições de armazenamento e que o acesso possibilite o tráfego dos veículos pesados como no caso da maioria das grandes empresas de construção civil localizadas em Curitiba.

A análise dos dados coletados através de entrevistas junto aos areeiros permitiu a identificação de diversos fatores importantes: existem áreas de produção de areia na RMC mas a maior parte do abastecimento atualmente tem origem na região do alto curso do rio Iguaçu; o principal modo de transporte utilizado é o rodoviário; a BR 277, a BR 116 e a BR 376 foram identificadas como rotas praticamente exclusivas para o transporte da areia produzida na área estudada e destinada ao abastecimento da RMC.

A Rodovia do Café (BR 277) é a mais utilizada para o transporte de areia do alto Iguaçu com destino à RMC, por vários motivos, dentre os quais, os mais importantes são: a inexistência de um controle rigoroso de peso dos veículos e de fiscalização tributária, inexistência de tarifas de pedágio, pelo menos no trecho entre Curitiba e Campo Largo, existência de amplos recursos de infra-estrutura de apoio (postos de serviço e abastecimento, borracheiros, etc.) e a existência de vias de acesso a alguns dos municípios

da RMC lindeiros à rodovia (como, por exemplo, Campo Largo, Almirante Tamandaré, Colombo, etc.) que apresentam consumo elevado de areia. Não há, no DNER ou qualquer outro órgão, disponibilidade de informações consolidadas e nem tampouco estatísticas sobre acidentes nas rodovias paranaenses, especialmente envolvendo caminhões que transportam areia. Entretanto, o risco de acidentes de trânsito é elevado, posto que são desrespeitados regulamentos no que se refere ao excesso de carga (prejudicando a estabilidade e a capacidade de frenagem do veículo), o excesso de velocidade e as condições de visibilidade e ofuscamento.

A maioria dos transportadores de grandes volumes, como no caso o transporte de areia para construção civil, parece apoiar a idéia de uma fiscalização rigorosa sobre o peso dos veículos nas rodovias paranaenses dentro do limite da balança. Este limite equivale a cerca de 17m^3 correspondente a 27 toneladas por viagem em carreta com três eixos traseiros (que é o veículo mais utilizado atualmente) quando, na prática, como referido anteriormente, se transporta entre 25m^3 e 30m^3 , às vezes mais.

O trabalho dentro dos limites legais e em condições de concorrência honesta parece boa idéia para todos. Atualmente, porém, os altos custos de desgaste dos veículos somente podem ser suportados, segundo os produtores, porque os transportadores praticam pequenos excedentes da mercadoria, tanto no embarque, quando pagam um pouco menos do que recebem, quanto do desembarque da areia, onde o comprador já se habituou a receber um pouco menos do que paga.

Existe muito interesse por parte dos usuários/clientes (empresas de mineração e comercialização de areia) pela utilização da ferrovia como modalidade de transporte da areia, no entanto, o modo ferroviário só se mostraria competitivo no caso do poder público exercer controle e fiscalização efetivos sobre o tráfego rodoviário de carga.

As empresas operadoras das ferrovias, a ALL (América Latina Logística), a FERROESTE e a FERROPAR consideram que o transporte de areia deve exigir investimentos. Como a maior parte da produção de areia não se desenvolve às margens da via férrea, existiria a necessidade de criação de pontos de transbordo localizados estrategicamente junto a ela, para operarem a transferência da areia do modo rodoviário para o ferroviário. A criação dessa estrutura de interface, para viabilizar o transporte

intermodal, é fundamental para que a ferrovia tenha mais versatilidade na sua prestação de serviços, não apenas no que se refere à areia.

Por fim, tanto os demais usuários das rodovias quanto o poder público se beneficiariam do empreendimento da alternativa de transporte ferroviário, através da melhoria das condições de tráfego e da redução dos gastos com conservação rodoviária.

A utilização em larga escala do transporte ferroviário implicaria em investimentos em terminais de embarque e desembarque, em realocação e substituição dos veículos das frotas para cobrir o percurso rodoviário entre os areeiros e os terminais de embarque e na necessidade de executar dois transbordos em lugar de um ou nenhum. Esta empreitada, bem como as condições precárias de funcionamento das ferrovias paranaenses, constituem barreiras que acabam por não atrair o interesse por esta alternativa de transporte.

7. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA MINERAÇÃO DE AREIA NO ALTO CURSO DO RIO IGUAÇU

A mineração é uma atividade que agride a natureza e mesmo tomadas as medidas de recuperação ou reabilitação, a área minerada dificilmente se aproximará do quadro natural apresentado antes da realização do empreendimento. Portanto, a mineração deve ser considerada como uma atividade geradora de impactos ao meio ambiente, porém, indissociável do meio antrópico que se utiliza dos recursos minerais e dos outros elementos que compõem a paisagem (flora e fauna) como condição de sobrevivência e manutenção do padrão de vida.

O meio ambiente sofre contínuas alterações de caráter antrópico, conhecida na literatura específica como impacto ambiental, que pode ser definido como “toda a alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante da atividade humana que, direta ou indiretamente afetem a segurança e o bem-estar da população, as atividades econômicas sociais, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais” (Resolução CONAMA 001/86, art. 1º).

BORDIGNON et al. (1985), CAVALCANTI (1991), HERMANN (1992), BAUERMEISTER & MACEDO (1994) e FABIANOVICZ (1998) citam vários tipos de impactos ambientais decorrentes da mineração de areia, dentre os quais destacam-se:

- Desmatamento para aumento da área da jazida e área do pátio;
- Derramamento de óleo diesel e lubrificante no solo e na água;
- Poeira gerada pelos caminhões transportadores de areia;
- Pingamento de areia úmida nas rodovias;
- Rebaixamento do leito e diminuição do nível d'água do rio como consequência dos trabalhos de dragagem e escavação;
- Erosão das áreas marginais dos rios em razão do aumento da velocidade de fluxo da água à jusante do local dragado;
- Aumento da turbidez da água;
- Revolvimento de sedimentos no fundo do leito fluvial contendo poluentes e metais pesados gerados por indústrias da região;
- Dragagem na faixa de preservação permanente;

- Geração de taludes íngremes e formação de grandes lagos de decantação (cavas) durante a fase de exploração de areia;
- Poluição visual; e,
- Poluição sonora.

No que se refere à cobertura vegetal, VALVERDE (1992), destaca que a principal alteração que uma mineração de areia tende a gerar é a supressão em determinada área.

Durante a operação de pesquisa mineral, apenas uma restrita parte da cobertura vegetal tende a ser suprimida, gerando uma pequena área desmatada que pode ser contornada com a recomposição do terreno e replantio de espécies equivalentes a gramíneas que recobrem o terraço fluvial do rio Iguaçu.

Na exploração de areia, durante a operação de decapeamento é importante promover o armazenamento e a proteção do solo superficial, visando sua reutilização após o esgotamento do minério, prevendo-se o controle da qualidade de seus nutrientes, com o objetivo de manter suas condições naturais. A simples supressão da vegetação acarreta também a proliferação de insetos e vetores e a migração da fauna ali existente, interferindo sobremaneira na cadeia trófica local.

Com o desmonte hidráulico, o lençol freático tende a ser rebaixado, refletindo diretamente na vegetação. Além disto, o desmonte implica na remoção de uma camada de solo que, apesar da baixa fertilidade, ainda apresenta nutrientes capazes de promover a recuperação vegetal da área. Como forma de minimizar os efeitos dessa remoção, deve-se utilizar o próprio rejeito resultante do beneficiamento do minério que será realizado na operação subsequente, para aterro das cavas. Pode-se utilizar estas cavas como bacias ou reservatórios de decantação de finos, promovendo-se, após o ressecamento, a cobertura com o solo superficial estocado e replantio da vegetação.

Na operação de transporte interno do minério e rejeito, não há alteração com repercussões significativas na cobertura vegetal, porém, no beneficiamento, pode ocorrer a liberação de substâncias que, uma vez conduzidas diretamente aos corpos hídricos, poderão produzir sensíveis mudanças nas interações físico-químicas da água e conseqüentemente na qualidade da água e no "habitat" da fauna aquática. Neste caso, as águas devem ser devidamente tratadas antes da liberação.

Na disposição dos rejeitos, seja em meio líquido ou sólido, há a supressão da vegetação para implantação do reservatório de decantação de sedimentos finos e de pilhas de rejeitos, além de possíveis reflexos diretos na vegetação das circunvizinhanças devido à contaminação do solo e água pelos efluentes na região do alto curso do rio Iguaçu.

Não há alterações significativas com a estocagem do produto no pátio de depósito do empreendimento, enquanto no carregamento e transporte do produto (areia), a vegetação das circunvizinhanças poderá ser atingida por particulados (poeira), o que pode afetar sensivelmente algumas de suas funções vitais como os processos de fotossíntese, respiração, transpiração, sudação etc, além de provocar impacto visual.

Algumas operações auxiliares, como a construção de estradas e atalhos na área de lavra de areia, que envolvem escavações, podem provocar alterações na cobertura vegetal. Porém, a mais significativa é a retirada de material de empréstimo para a construção de diques e barragens que pode provocar um desmatamento de proporções significativas e, para que isto seja evitado, convém a utilização, sempre que possível, do próprio material proveniente da mina (rejeito), reduzindo-se ao mínimo necessário a extensão das áreas de empréstimo externas à mineração.

Na desativação da área minerada, deve-se promover a recomposição e estabilização dos terrenos utilizados, implantar cobertura vegetal a partir do revestimento da superfície com solo orgânico previamente estocado e, com isto, criar condições iniciais para o desenvolvimento auto-sustentável da vegetação.

Durante as visitas realizadas às minerações de areia que utilizam o processo de exploração em cava seca, observou-se que, de uma maneira geral, o trabalho prático de mineração estabelece taludes naturais de lavras, com estabilidade adequada às operações.

As características geotécnicas locais deverão ser levantadas e confrontadas com o projeto de lavra, de maneira a realizar a adequação e o dimensionamento dos taludes de lavra (vizinhos).

No projeto de lavra de areia é fundamental a visualização e o projeto das áreas após o seu esgotamento de maneira a garantir a preservação e recuperação do meio físico. Nesse particular é fundamental atentar-se para as características geotécnicas dos materiais, de maneira a prever-se comportamentos futuros e proceder-se a adequação dos projetos.

Outra preocupação durante a fase de lavra de areia é com relação à disposição dos rejeitos. A finalidade da existência dos depósitos de rejeitos é a não poluição e assoreamento das drenagens locais e regionais. Na fase da formação desses depósitos artificiais, quando o material encontra-se em processo de sedimentação e adensamento, é fundamental a garantia da estabilidade global dos diques e barragens de terra, comumente utilizados, de maneira a evitar-se invasões e rupturas provocadas pelos mais diversos motivos (fundação, talude, transbordamento, erosão e percolação indevida).

Os areeiros da região estudada, em geral, apresentam rejeitos finos e plásticos, os quais apresentam dificuldades para a decantação. Nestes casos, os depósitos de rejeito, mesmo depois de longo tempo do lançamento do material na área, podem ser utilizados como fundação de obras civis desde que haja um acompanhamento e estudo.

A existência de um grande elenco de impactos sobre o meio ambiente, provocados pela mineração de areia faz com que o poder público exija, na forma da lei, para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental (PINTO, 1993).

ABRÃO & SINGER (1985) destacam que o Estudo de Impacto Ambiental constitui um instrumento preventivo e controlador balizado pelas exigências sociais contemporâneas, aparecendo como uma inovação profunda e ajustável à solução da problemática relativa à destruição do meio ambiente causada pela mineração e demais atividades econômicas.

Resolução CONAMA prevê a apresentação de EIA e seu correspondente Relatório de Impacto Ambiental – RIMA para as atividades modificadoras do meio ambiente, entre elas a extração de minérios, incluindo a areia para construção civil. O EIA deve considerar o diagnóstico da área de influência do projeto, análise dos impactos positivos e negativos gerados, seus efeitos a curto, médio ou longo prazo, definição de medidas mitigadoras de impactos ambientais negativos e elaboração de um programa de acompanhamento e monitoramento ambiental. Enfim, a atividade de mineração de areia está incluída na lista dos recursos minerais que precisam apresentar o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas segundo a Resolução SMA 18 de 23/10/89 principalmente no caso da disposição de rejeitos e abandono de cavas na área minerada.

Neste aspecto, a Resolução nº 1, de 04/01/90 do CONAMA também instituiu cobrança no fornecimento de Licença Ambiental (Licença Prévia – LP), Licença de Instalação (LI), Licença de Operação (LO), como também o licenciamento da atividade degradadora dependente de estudos de Impacto Ambiental.

A Constituição de 1988 estabelece que o explorador de recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (Constituição, Artigo 225 § 1º, IV e § 2º).

Tendo em vista o caráter essencialmente orientativo dos resultados previstos, bem como o objetivo de, posteriormente, estabelecer normas e procedimentos para a condução das atividades de aproveitamento das jazidas de areia na RMC, adotou-se o enfoque de recuperação das áreas de mineração de areia. Levou-se em consideração, para a utilização deste enfoque, a perspectiva de compatibilizar, simultaneamente, as operações e atividades de mineração de areia com a estabilidade do ambiente, o que implica a adoção de medidas destinadas a manter o equilíbrio dos processos naturais atuantes na área de mineração, desde o início das operações de pesquisa mineral até a desativação da lavra.

A recuperação ideal de uma área degradada está necessariamente vinculada a uma destinação pré-definida para reutilização do local minerado. Isto, conceitualmente, corresponde à reabilitação das áreas degradadas. As destinações usuais de áreas desativadas de extração de areia verificadas na literatura técnica, especialmente em nível internacional, são: lazer (parques), residencial, comercial, industrial, edificações institucionais e aterros sanitários.

Para a recuperação da área minerada, cabe ressaltar que, em princípio deve-se considerar a modalidade de aproveitamento de areia na RMC em cava seca, via de regra associada principalmente a exploração de areia na planície aluvial do rio Iguaçu e com representação bastante significativa na região de Balsa Nova e Lapa, área objeto de estudo desta dissertação de mestrado. O mesmo não se aplica ao caso do aproveitamento de areias em sedimentos de corrente, ou seja, dragagem em leito de rio (cava submersa), cuja modalidade de lavra é muito mais comum no Segundo Planalto (calha fluvial do rio Tibagi) e no canal fluvial do rio Paraná, porção oeste do Estado do Paraná.

7.1. CONFLITOS ENTRE A ATIVIDADE EXTRATIVA DE AREIA E OUTRAS FORMAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para HERMANN (1992), MINEROPAR (1997) e CRUZ (1998), a imagem da mineração como uma atividade agressiva ao meio ambiente e aos interesses do desenvolvimento sustentado tem suas raízes na intensa demanda pelos bens minerais que vigorou no passado, associada à falta tanto de soluções tecnológicas adequadas, quanto de prioridade para a conservação ambiental na agenda dos governos. Esta combinação de fatores induziu o desenvolvimento de uma indústria mineral predatória, bastante generalizada no Brasil até épocas recentes da nossa história.

A poluição ambiental causada pela mineração tem sido fortemente considerada e documentada em bibliografia, constituindo-se, um aspecto muito negativo para esta atividade. Não obstante, a realidade atual está mudando, principalmente por efeito de uma fiscalização ambiental cada vez mais eficiente e priorizada pelo poder público, bem como pela disponibilidade de tecnologias de controle e recuperação ambiental mais adequadas. Ambas, fiscalização e tecnologia, são favorecidas pelo fato de que a mineração afeta geralmente pequenas extensões geográficas (impacto denso e localizado), dentro de áreas controladas pelo governo federal (TAUK, 1995).

Temos, portanto, que a mineração não apenas é uma atividade econômica de impactos ambientais em geral localizados, como ainda apresenta maiores possibilidades de gestão do risco e facilidade de fiscalização por parte do poder público. À medida que a indústria mineral se moderniza e que o controle se tornar mais efetivo, esta imagem tornar-se-á coisa do passado.

A mineração de areia na RMC é uma atividade combatida pela população de modo geral pelo fato de provocar danos ao meio ambiente. Contudo, na RMC, tal atividade vem se tornando coadjuvante importante na estratégia de controle às enchentes e no combate ao estabelecimento de invasões e loteamentos ilegais nas áreas de várzeas e fundo de vale do alto curso do rio Iguaçu e seus afluentes.

Após as catastróficas cheias do verão de 1995, milhares de famílias que habitavam as várzeas do rio Iguaçu, na Grande Curitiba ficaram desabrigadas. Naquela ocasião, numa ação emergencial, começou a ser construído, paralelo à calha do rio Iguaçu, um canal extravasor para escoar o excedente de água que transbordasse o leito normal do rio,

reduzindo-se o efeito das enchentes. A enchente mostrou também a importância das cavas de areia na diminuição da velocidade das águas e na função de seu represamento, servindo como controlador do fluxo de água, evitando, desta forma, maiores consequências para a população local (AREIA E BRITA, 1998).

Como exemplo de reabilitação de área minerada de areia, cumpre citarmos o caso do Parque Iguaçu, na cidade de Curitiba, onde foi construída uma raia semi-olímpica de 1500 m de extensão a partir de várias cavas de mineração de areia que ali existiam. Outra área de cavas se regenerou lentamente, assim foi mantida e está destinada à pesca recreativa.

Na região do Alto Iguaçu existem inúmeras cavas de areia que também podem servir como um reservatório de água complementar ao abastecimento público muito embora os moradores tenham contribuído para o entulhamento das cavas com lixo, aumentando ainda mais a degradação ambiental (ROCHA, 1996).

À medida que avança a urbanização, o preço da terra torna-se mais alto, diminuindo a possibilidade de arrendamento e aumentando as exigências do proprietário em relação ao estado em que deve ficar o terreno após a lavra para que a área tenha um futuro aproveitamento econômico. Estes fatos, ligados às maiores exigências feitas pelas prefeituras, tornam muito oportunos os estudos e diretrizes sobre processos de lavra e recuperação de áreas mineradas na RMC de forma a poder conciliar a atividade de mineração de areia com outros usos do solo presentes e futuros.

A mineração é uma atividade caracterizada como de uso provisório do solo que vai depender obviamente do esgotamento de suas jazidas. Assim, a área minerada pode ter no futuro outras destinações rurais ou urbanas.

Quanto maior for a perda ou impacto sobre o meio, maior a justificativa para se modificar a forma de uso do solo no local. As regiões mais urbanizadas e ricas economicamente tendem a preservar cada vez mais os recursos existentes em razão dos inevitáveis conflitos existentes entre a população residente e a mineração de areia. Tais conflitos impõem restrições ambientais quanto à mineração de areia realizada nas várzeas do rio Iguaçu, município de Curitiba. Por outro lado, em regiões economicamente carentes localizadas no entorno da RMC, como nos municípios de Lapa e Balsa Nova, aspectos mais

evidentes de depredação ambiental gerados pela mineração de areia são comuns e até certo ponto relegados a segundo plano pela população local.

A recomposição do terreno se torna mais onerosa em cavas de areia abandonadas porque o rejeito, na maioria das vezes, é depositado de maneira aleatória, quase sempre nas margens do leito fluvial, provocando o represamento e assoreamento dos rios tal como ocorre nos areeiros da região de Balsa Nova e Lapa. Em uma mineração ativa e planejada, o investimento de recomposição da área é menor.

O planejamento ambiental e do uso do solo deve incluir a variável declividade do terreno lavrado. É importante que se faça um exame das áreas que podem ser recuperadas no futuro para que os recursos sejam melhor utilizados evitando-se o desperdício de rejeitos, e o loteamento inadequado. Muitos rejeitos podem ser utilizados na pavimentação de estradas ou mesmo como agregado na construção civil diminuindo o volume do material acumulado. Nos areeiros estudados, a camada de argila situada sobre as lentes de areia é considerada rejeito no processo de lavra, no entanto, estudos qualitativos e quantitativos podem revelar um uso econômico para este material, como por exemplo na fabricação de telhas e tijolos, representando uma atividade econômica e uma fonte de renda para o sustento da população local.

Uma das maiores polêmicas verificadas quanto a conflitos do uso e ocupação do solo é com relação à exploração de areia em áreas de preservação permanente.

De acordo com o Código Florestal em seu Art. 2º, consideram-se áreas de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será, de acordo com a redação da Lei nº 7.803 de 18.7.1989, como segue:

- de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

- de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

Perante o exposto, a área de preservação permanente estabelecida para o rio Iguaçu e recomendada pelo IAP (1998) é de, no mínimo, 50 (cinquenta) metros de largura tendo em vista a largura do seu canal fluvial. Em seu Artigo 26, o Código Florestal prevê contravenções penais, puníveis com três meses a um ano de prisão ou simples multa de uma a cem vezes o salário-mínimo mensal, do lugar e da data da infração ou ambas as penas cumulativamente para os que extraem de florestas de domínio público ou consideradas de preservação permanente, sem prévia autorização, pedra, areia, cal ou qualquer outra espécie de minerais.

Estudos realizados por THEODOROVICZ et al. (1998) destacam que o domínio de várzeas do alto Iguaçu de onde provém a maior parte da areia para uso na construção civil da RMC são áreas protegidas por lei de acordo com o Código Florestal (Lei 4771/65) que estabelece algumas recomendações quanto ao uso e ocupação dessas áreas:

- são áreas impróprias para edificações ou outros usos que possam contaminar o lençol freático;
- pelo fato de serem áreas muito planas, são as mais visadas pelas invasões de populações de baixa renda, por isso, antes que sejam ocupadas de forma inadequada, as várzeas próximas às zonas com forte pressão de urbanização deveriam ser de imediato transformadas em parques de lazer e/ou destinadas a outros tipos de usos compatíveis com a sua fragilidade ambiental. Caso permaneçam abandonadas, certamente serão invadidas;
- antes de qualquer iniciativa de uso, deve-se dar prioridade à exploração de recursos minerais, sendo necessário considerar que eles não ocorrem onde se deseja, e muitas vezes, a ocupação clandestina das várzeas inviabiliza o aproveitamento de grandes depósitos minerais, principalmente a areia para construção civil;
- os mineradores que explotam areia ou argila das várzeas devem ser orientados para não derramarem substâncias poluentes, para não jogar lixo nas cavas de mineração e devem ser obrigados a recuperar a área degradada;

Por outro lado, o Código de Mineração determina que a exploração de areia no leito de rios ou em sua planície aluvial não poderá se processar até uma distância das margens igual ao equivalente a 10% da largura do mesmo, no trecho considerado, sendo proibida a utilização de áreas consideradas de preservação permanente (Art. 2º da Lei Federal nº 4.771/65), mesmo desprovidas de vegetação para a locação de canchas, depósitos, portos ou lavadores de areia.

Observa-se, portanto, uma contradição entre as leis estabelecidas pelo Código de Mineração e o Código Florestal. O Código Florestal impõe maiores restrições quanto ao aproveitamento de areia em áreas de preservação permanente e por outro lado, o Código de Mineração mostra-se mais brando em termos de impedimentos ao desenvolvimento da atividade minerária de areia, principalmente no que se refere ao tamanho da largura da faixa de preservação permanente que é bem menor do que a determinada pelo Código Florestal.

Outro conflito envolvendo o aproveitamento de areia diretamente utilizada na indústria da construção civil é que, dentre os bens minerais produzidos na região, a areia é a que tem maior possibilidade de escassez a curto prazo. A disponibilidade deste recurso mineral vem dia a dia declinando em virtude de inadequado planejamento, zoneamentos locais e/ou regionais restritivos, uso competitivo do solo, aumento da pressão exercida pela preservação ambiental. Dessa forma, as restrições à lavra deste recurso natural próximo às áreas de consumo estão levando ao desenvolvimento de fontes alternativas de produção, cada vez mais afastadas dos centros consumidores, encarecendo o frete e por conseguinte o preço final do produto.

Para VALVERDE (1992), o processo acelerado de urbanização verificado nas últimas décadas tem provocado um aumento na demanda por produtos minerais para a construção civil, em especial areia. Portanto, nas Regiões Metropolitanas Brasileiras estes bens minerais vem se tornando cada vez mais escassos.

Tal situação se reproduz na RMC como consequência da falta de planejamento ambiental e ações efetivas para mitigar conflitos de uso do solo, fato que acaba transgredindo os princípios de proteção ao meio ambiente.

8. CONCLUSÕES

- O alto curso do rio Iguaçu, atualmente representa a principal área fornecedora de areia para a Região Metropolitana de Curitiba – RMC, devido às condições viáveis de explotabilidade e de qualidade do produto.
- As empresas de mineração de areia são em sua maioria de pequeno e de médio porte.
- Os empresários detêm conhecimentos práticos, em geral não efetuam acompanhamento técnico da atividade, onde prevalece o uso de tecnologias obsoletas no processo de lavra.
- Os processos de lavra são do tipo a céu aberto, em cava seca
- As areias do alto curso do rio Iguaçu encontram-se depositadas em camadas de espessuras de 01 a 03 metros, geralmente sotopostas a horizontes de solo argiloso. Os depósitos integram os terraços fluiviais situados a aproximadamente 100 a 500 m das margens do atual curso do rio Iguaçu.
- Verificou-se a existência de uma camada de argila com espessuras entre 50cm e 01 m recobrimdo os depósitos de areia da região do alto curso do rio Iguaçu.
- Análises granulométricas efetuadas nas areias de horizontes típicos da região, revelaram diferenças em termos de granulometria e mineralogia. Estas areias proporcionam um considerável potencial do bem mineral para uso em construção civil em suas diversas modalidades.
- As areias aluvionares das amostras tipo 01, 02, 03 e a areia da amostra tipo 06, esta última coletada de pilha de estocagem abandonada, possuem uma mineralogia mais diversificada e também um maior percentual de material sedimentar com granulometria acima de 0,5 mm, sendo classificadas como areia comercial média a grossa;
- Somente a areia da amostra do tipo 01 atende a normas técnicas para uso em várias finalidades na construção civil pelo fato de apresentar uma alta porcentagem de areia média, com baixa proporção e equilíbrio das frações de areia grossa e areia fina, sendo recomendada para produção de concreto, reboco, chapisco e preparação de pasta de cimento para assentar tijolos;

- A areia da amostra do tipo 02 não é recomendada para uso na construção civil porque apresenta excesso de fração grosseira em sua composição granulométrica;
- A areia da amostra do tipo 03 apresenta grande porcentagem de grânulos e areia grossa em sua composição não sendo recomendada para trabalhos de acabamento em construção civil;
- A areia da amostra do tipo 04 não é recomendada para uso na construção civil porque apresenta excesso de finos em sua composição granulométrica, sendo recomendada para fabricação de telhas e tijolos;
- A areia da amostra do tipo 05 apresenta características favoráveis para o seu uso na construção civil pelo fato de apresentar baixa porcentagem de material fino (silte/argila), necessitando apenas de um ajuste na porcentagem quantitativa de agregado graúdo/agregado miúdo. É indicada para trabalhos de reboco, chapisco e preparação da pasta de cimento para assentar tijolos;
- Os grãos de quartzo e feldspato predominam no conjunto dos minerais presentes, com exceção do horizonte intermediário B, representado pela areia da amostra do tipo 04 que apresenta grande quantidade de material siltico e argiloso;
- As reservas de areia disponíveis para a região estudada mostram-se suficientes conforme a conjuntura e tendências atuais para atendimento da demanda futura da RMC.
- No beneficiamento de areia utilizam-se peneiras de classificação, mediante as quais são separados os materiais de acordo com a classificação granulométrica.
- O desenvolvimento da atividade de exploração de areia na região estudada é técnica, econômica e ambientalmente aceitável diante das atuais condições de mercado e da demanda do setor de construção civil.
- O transporte de areia utilizado na RMC é do tipo rodoviário, mediante caminhões basculantes de médio e grande porte.
- O transporte rodoviário de areia é competitivo se comparado à possibilidade alternativa do transporte ferroviário. Este último apresenta condições precárias de funcionamento na região e exige elevados investimentos.

- Existem trâmites relativamente burocráticos exigidos para o desenvolvimento das atividades de mineração de areia. Este fato gera dificuldades no atendimento de todos os requisitos por parte de algumas minerações.
- Há necessidade de conscientização da população no que se refere à importância da mineração de areia para o atendimento da demanda social que envolve o setor.
- Muitas empresas de mineração operam sem acompanhamentos técnicos necessários, aumentando os impactos ambientais inerentes à atividade de mineração de areia.
- A região geomorfológica do Segundo Planalto paranaense (60km do centro de Curitiba), aparece como provável área de produção de areia para o futuro abastecimento da RMC a médio e longo prazo, mesmo considerando o alto custo do frete.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Os baixos chapadões do Oeste Paulista. Boletim da Fac. de Fil. Ciências e Letras (USP). Geomorfologia nº 17. São Paulo, 1969.
- ABRÃO, P.C. & SINGER, E. da Motta. Impactos ambientais na Mineração: um enfoque metodológico IN I Congresso Brasileiro de Mineração. IBRAM. Brasília. DF. 1985. pp. 239 – 342.
- ABREU, S.F. Recursos minerais do Brasil. São Paulo. Edgard Blücher. Ed. Universidade de São Paulo (EDUSP), 1973.
- ANDRADE E SILVA, A. C. G. de. A jazida de Barita de Água Clara no âmbito do Pré Cambriano do Vale do Ribeira, Estado do Paraná. (Tese de doutorado). Programa de pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrologia. ICG/USP. São Paulo, 1990.
- AREIA & BRITA. Parque Metropolitano do Iguaçu: minerações e areia no combate a enchentes. IN: Periódico Areia & Brita. nº 05. ANEPAC. São Paulo. Abril/junho, 1998. pp. 12 – 17.
- BARCELOS, J.H. Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo. Rio Claro, 1984. Tese de Livre Docência em Petrologia Sedimentar - Departamento de Geologia Geral e Aplicada, Universidade Estadual Paulista.
- BATOLLA JR. et. al. Projeto Leste do Paraná: relatório final – Geologia - folha Curitiba SG 22X-DI. Anexos I e II. vol. I. São Paulo. DNPM/MME, 1977.
- BAUER, L. A. Falcão. Materiais de construção. Rio de Janeiro. Ed. Livro técnico e científico, 1985.
- BAUERMEISTER, K.H. & MACEDO, A.B. Quadro de recuperação de áreas mineradas de areia na região leste do Estado de São Paulo. In: Anais do 2º Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. Foz do Iguaçu - PR. FUPEF, 1994. pp. 225-235.
- BECKER, R. D. Distribuição dos sedimentos cenozóicos na Região Metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional. Tese de doutoramento. UFRS. Porto Alegre, 1982.

- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. Boletim de Geologia da Universidade do Paraná, 1962.
- BIGARELLA, J. J. & MOUSINHO, M. R. Contribuição ao estudo da Formação Pariquera – açu (Estado de São Paulo). Boletim Paranaense de Geografia, 1965. pp. 17 – 41.
- BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTOS, Gilberto F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. vol. I. Florianópolis: Ed. UFSC, 1994. 425 p.
- BORDIGNON et. al. A mineração de areia na Região metropolitana de São Paulo: aspectos econômicos e ambientais. IN 5º Simpósio Regional de Geologia. SBG. vol. I. nov. São Paulo, 1985. Pp. 79 – 89.
- BRASIL, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Divisão de Controle de Recursos Hídricos. Inventário das estações fluviométricas. Brasília, 1979.
- CANALI, N. E. & MURATORI, Ana M. Síntese da evolução geomorfológica da Bacia Sedimentar de Curitiba IN 3º Simpósio Regional de Geologia. Atas. vol.2. nov. CNPq. Curitiba, 1981. pp. 363 – 371.
- CANÓVAS, M. Fernández. Patologia e terapia do concreto armado. São Paulo. Ed. PINI, 1988.
- CASSETI, V. Elementos de Geomorfologia. Goiânia. Ed. UFG, 1994.
- CAVALCANTI, R. N. A areia de construção civil e o meio ambiente. IN: Anais do 3º Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente.v2.Londrina, 1991. pp. 404-415.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2ª ed. São Paulo. Edgard Blücher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. São Paulo. Edgard Blücher, 1981.
- CIGOLINI, A. MELLO, L. de, LOPES, N. Paraná: quadro natural, transformações territoriais e economia. Curitiba. Ed. Renascer, 1998. 128p.
- COMUNE, Antônio Evaldo, CAMPINO, A. C. C., RIZZIERI, Juarez A. B.. Indicadores de qualidade de vida. IN LONGO, C. A., RIZZIERI, Juarez A. B. (org.). Economia urbana – custos de urbanização e finanças públicas. São Paulo. IPE/USP, 1982. pp. 81 – 115.
- COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. Mapas temáticos da Região Metropolitana de Curitiba em escala de 1:5000000. Curitiba. COMEC, 1984.

- CORDANI, U. G. As ciências da Terra na sociedade contemporânea IN Cadernos IG/UNICAMP. vol. 08, nº 1/2, 2.000.pp. 22 – 35.
- CRUZ, Adão de Souza. Viabilização de áreas para exploração de areia na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba. MINEROPAR, 1998.
- DANA, J. D. Manual de mineralogia. Rio de Janeiro. Ed. Ao Livro Técnico, 1969.
- ERNST, W. G. Minerais e rochas. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 1996.
- FABIANOVICZ, Rosemari. Conflitos entre a extração de areia e a expansão urbana na Região da Grande Curitiba/PR. (Dissertação de mestrado). UNICAMP. Campinas. São Paulo, 1998.
- FAIRCHILD, T. R. et al. (org). Decifrando a Terra. São Paulo. Oficina de textos, 2.000.
- FERREIRA, Gilson Ezequiel & ALBUQUERQUE, Gildo A. Sá C. Custo tributário no setor mineral. Brasil Mineral. São Paulo. Ed. Signus. vol. 14, nº 147, 1997.
- FOLHA GEOLÓGICA CONTENDA XXIV –10 em escala 1:50.000. Serviço Geológico Brasileiro, 1966.
- FOLHA TOPOGRÁFICA CURITIBA SG 22 –10 em escala 1:1.000.000. IBGE, 1976.
- FORTESCUE, J. A. Environmental Geochemistry: A holistic Approach. Springer & Verlag, New York, 1980. 374p.
- FUCK, R. A., TREIN, J.C. & MARINI, L. Contribuição ao estudo das rochas graníticas do Estado do Paraná IN BIGARELLA, J. J. et al. Geologia do Pré Devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba, 1967. pp. 183 – 219.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –Diretoria Técnica. Geografia do Brasil: Região Sul. vol. 05. Rio de Janeiro, IBGE. SERGRAF, 1977.
- GOIS, José R., DE MIO, Giuliano, STEVANATO, Rodoilton, PINÇANO, Jeferson. Avaliação dos depósitos de areia e argila da planície aluvial do rio Iraí, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná. IN: Simpósio Brasileiro de Geologia. Boletim de Resumos de Programa. Curitiba, 1993. pp. 73 – 74.
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1994.

- GUIDICINI, G. Estudos de ocorrências de materiais naturais granulares no interior da Bacia do Alto Paraná. São Paulo. IPT. Rel. int. (inéd.). 1973.
- HARBEN, P. W. & BATES, R.L. Geology of the nonmetallies. New York: Metal bulletin, 1984.
- HERMANN, H. Política de aproveitamento de areia no Estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis. Rio de Janeiro. CETEM/CNPq, 1992. 186p.
- HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J., DEER, W. A. An introduction to the rock – forming minerals. 2nd. England, Longman Scientific & Technical, 1992. 696 p.
- ICSU. An Agenda of Science for Enviroment and Development into the 21st Century. University Press. Cambridge, 1992.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANA (IAP). Empreendimentos minerários. Manual de licenciamento ambiental. Curitiba. 05/01/1998. 17 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil: Região Sul. Diretoria Técnica. Rio de Janeiro. SERGRAF. IBGE, 1977.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. A mineração brasileira e o Brasil de 1995 a 1998. Brasília: IBRAM, 1994. 8 p. Circular SE/04 a/94.
- KAEFER, Libório Quirino, MACHADO, Roseney Gandolfo, BORÇATO, José. Projeto integração geológica da Região Metropolitana de Curitiba: Avaliação econômica mineral. Relatório final. São Paulo, CPRM, 1988. 115 p.
- LEINZ, Victor & LEONARDOS, Othon H. Glossário Geológico. Cia Editora Nacional. São Paulo, 1977.
- LEINZ, Víctor. Geologia Geral. 8^a ed. São Paulo: Ed. Nacional, 1980.
- LEPESH, I.F. Classificação dos solos. São Paulo. EDUSP, 1977.
- LEPREVOST, ALSEDO. Minerais para a Indústria. Rio de Janeiro, Ed. Livro Técnico e científico, 1978.
- MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Arq. Biol. Tecn. Curitiba. vol. 02. Art. 07, 1947. pp. 66 – 154.
- MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. Rio de Janeiro. E. José Olympio, 1981.
- MACHADO, I. F. Recursos minerais, política e sociedade. São Paulo. Edgard Blücher. PADCT/CNPq Ed. Universidade de São Paulo (EDUSP), 1989.
- MASON, B.H. Princípios de Geoquímica. São Paulo. Polígono, Ed. da USP, 1971. 381p.

- MIALL, A. D. The geology of fluvial deposits. Berlin. Springer – Verlag, 1996.
- MINEROPAR. Coordenadoria de desenvolvimento mineral. Sinopse geoeconômica do setor mineral Paranaense. Curitiba, 1994. 73p.
- MINEROPAR. Projeto Geotecnia. Região Metropolitana de Curitiba. Mapeamento geológico – geotécnico nas folhas COMEC A 100, A103 e A 093 (parcial) convênio 04/95 – COMEC/MINEROPAR. Vol. 01, texto, Curitiba, 1997.
- MOURA, J. R. da Silva. et. al. Unidades de evolução geomorfológica do Quaternário: uma abordagem integrativa para a análise ambiental. IN: Anais do 3º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Vol. II. Londrina, 1991. pp.108 – 115.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto armado. Trad. Salvador E. Giammusso. 2ª ed. São Paulo. Ed. PINI, 1997.
- OLIVEIRA, A. I. & LEONARDOS, O. H. Geologia do Brasil. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Sev. Inform. Agrícola. 1943.
- PARDÉ, Maurice. Sur le regime des cours d'eau argentius, uruguayens, paraguayens et sud – bresiliens. Estudios geográficos. Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 1952. Pp 621 – 648.
- PARK JR., Charles F. (org.). Earth Resources. Washington. Voice of America Forum Series, USA, 1980.
- PELLENZ, Elbio & LOYOLA, Luciano Cordeiro de. Avaliação mineral como objeto de análise do uso do solo nas áreas dos mananciais do Alto Rio Iguaçu – Região Metropolitana de Curitiba/Paraná. IN Simpósio Sul Americano, 1, e Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2, vol. 1. FUPEF. Foz do Iguaçu, 1994. pp.211- 223.
- PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. Geologia do Brasil. São Paulo. Ed. Universidade de São Paulo, 1983.
- PETTIJOHN, F. J. Sand and sandstone. New York. Springer, 1972. 618p.
- PINTO, M. N. (Org.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2ª ed. Brasília. Ed. UNB, 1993. 617 p.
- PROJETO PARANÁ. Fotografias aéreas da região do alto curso do rio Iguaçu em escala de 1:25.000. Quadrícula: SG 22 X-c – VI, séries – 49.329, 49.331, 49.401 e 49.402. ITC/DENGE. Curitiba, 1980.

- RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo. Ed Agronômica CERES LTDA, 1991.
- REIS FILHO, N. G. contribuições ao estudo da evolução urbana no Brasil. Pioneira, Editora Edusp. São Paulo, 1968.
- RIZZO, F. M. & SADOWSKI, G. R. Considerações sobre a mineração à céu aberto (aspectos geológicos, econômicos e ecológicos) IN 5º Simpósio Regional de Geologia. São Paulo. Nov. vol. I, 1985. pp. 91 – 98
- ROCHA, C. M. Legislação de conservação da natureza. 4ª ed. São Paulo. CESP/FBCN, 1986. 720 p.
- ROCHA, Ana Lizete. Caracterização ambiental, hidrológica e geoquímica dos depósitos aluvionares da Bacia Hidrográfica do rio Pequeno, Região Metropolitana de Curitiba/PR. (dissertação de mestrado). Curitiba, UFPR, 1996.
- ROSSETE, Amintas Nazareth. Planejamento ambiental e mineração – Estudo de caso da mineração de areia no município de Itaguaí –RJ. UNICAMP. Campinas, 1996. 94p. (Dissertação de mestrado).
- SCHOBENHAUS, et. al. Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília. DNPM, 1984.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Resumo descritivo das principais características geológicas da Folha Curitiba (SG-22-X-D-I). CPRM. São Paulo, 2000. pp. 9-14.
- SKINNER, B. J. & PORTER, S. C. The dynamic earth: an introduction to physical geology. 3 rd. ed. USA printed. 2000.
- SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. Depósitos cenozóicos na região Centro Sul do Brasil. Not. Geomorfológicas. Campinas. 1976. pp. 17 – 39.
- SOUZA FILHO, E. E. de. Variação longitudinal de fácies em depósitos sedimentares do Rio Paraná entre Guaíra e Porto Rico (PR). São Paulo. IGCE/USP, 1992.
- SUGUIO, Kenitiro. Introdução à sedimentologia. São Paulo. Edgard Blücher: EDUSP, 1973. 320 p.
- TAUK, Samia Maria (org.). Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. 2ª ed. São Paulo. Edusp, 1995.

- TEIXEIRA, Antônio Carlos. Análise comparativa da mineração na América do Sul: Argentina, Bolívia, Chile, Guiana, Peru e Venezuela. Brasília. DNPM, 1996.
- THEODOROVICZ, A. Q.; THEODOROVICZ, A. M. de G. & CANTARINO, S. da C. Atlas geoambiental da Região Metropolitana de Curitiba: subsídios ao planejamento territorial. GATE/CPRM. Programa de informação para gestão ambiental. São Paulo, 1998.
- VALVERDE, Fernando M. et. al. Diretrizes para a mineração de areia na Região Metropolitana de São Paulo. DNPM/PRÓ MINÉRIO. São Paulo, 1992.
- WILSON, Herb. Sand and gravel: the new klondike? Mining Engineering. Littleton. Society for mining, metallurgy and exploration. v.45. nº 06. June, 1993.

REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS:

1. <http://www.minerais@pr.gov.br>
2. <http://www.dnpm.gov.br>
3. <http://www.cprm.org.br>
4. <http://www.planalto.gov.br>
5. <http://www.mme.gov.br>
6. <http://www.ipardes.gov.br>

ANEXO A

**Resultados da análise granulométrica das amostras de areia da
região do alto curso do rio Iguaçu/PR**

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Paulo César Fonseca Giannini							
O aproveitamento de areia na região do alto curso do rio Iguaçu/PR: aspectos geológicos, econômicos e ambientais							
Data: 23/02/02							
Amostra: 01			Massa dispersante (g)			01 g de fosfato de sódio	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		51 g	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		47,7095		
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)		0,0013		
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)		47,7108		
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0689		
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,7899	10,7480	0,0419	0,0038	0,1900
0,031 - 0,016	01:56	03:52	7,4092	7,3711	0,0381	0,0042	0,2100
0,016 - 0,008	07:44	15:28	9,93	9,8961	0,0339	0,0030	0,1500
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0513	8,0204	0,0309	0,0033	0,1650
<0,004	123:00	246:00	8,4235	8,3959	0,0276	0,0276	1,3800
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	3,9	4,17	8,17	8,17	grânulo		
2,830 - 2,000	4,5	4,81	9,43	17,60	grânulo		
2,000 - 1,410	5,9	6,31	12,37	29,97	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	3,7	3,95	7,74	37,71	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	3,8	4,06	7,96	45,67	areia grossa		
0,707 - 0,500	6,7	7,16	14,03	59,70	areia grossa		
0,500 - 0,354	4,2	4,49	8,80	68,50	areia média		
0,354 - 0,250	4,6	4,92	9,64	78,14	areia média		
0,250 - 0,177	4,2	4,49	8,80	86,94	areia fina		
0,177 - 0,125	6,1	6,52	12,78	99,72	areia fina		
0,125 - 0,088	0,004	0,01	0,07		areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,1055	0,11	0,21	0,21	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0013				silte/argila		
0,062 - 0,031		0,00			silte grosso		
0,031 - 0,016		0,00			silte médio		
0,016 - 0,008		0,00			silte fino		
0,008 - 0,004		0,00			silte mt. fino		
<0,004		0,00			argila		
Total	47,7108	51,00	100,00				

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Paulo César Fonseca Giannini							
O aproveitamento de areia na região do alto curso do Rio Iguaçu/PR: aspectos geológicos, econômicos e ambientais							
Data: 23/02/02							
Amostra: 02			Massa dispersante (g)			01 g de fosfato de sódio	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		50,8 g	Partículas 4,000 - 0,062 (g)			48,2000	
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)			0,0565	
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)			48,2565	
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf			1,0527	
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,4946	8,4510	0,0436	0,0025	0,1250
0,031 - 0,016	01:56	03:52	7,812	7,7709	0,0411	0,0016	0,0800
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,4862	10,4467	0,0395	0,0028	0,1400
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,372	10,3353	0,0367	0,0038	0,1900
<0,004	123:00	246:00	10,2101	10,1772	0,0329	0,0329	1,6450
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	7,7	8,11	15,96	15,96	grânulo		
2,830 - 2,000	6	6,32	12,44	28,40	grânulo		
2,000 - 1,410	4,6	4,84	9,53	37,93	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	7,4	7,79	15,34	53,27	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	6,6	6,95	13,68	66,95	areia grossa		
0,707 - 0,500	2,3	2,42	4,76	71,71	areia grossa		
0,500 - 0,354	5,7	6,00	11,81	83,52	areia média		
0,354 - 0,250	3,4	3,58	7,06	90,58	areia média		
0,250 - 0,177	2,6	2,74	5,39	95,97	areia fina		
0,177 - 0,125	1,1	1,16	2,29	98,26	areia fina		
0,125 - 0,088	0,5	0,53	1,04	99,30	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,3	0,32	0,62	99,92	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0565	0,04	0,08		silte/argila		
0,062 - 0,031					silte grosso		
0,031 - 0,016					silte médio		
0,016 - 0,008					silte fino		
0,008 - 0,004					silte mt. fino		
<0,004					argila		
Total	48,2565	50,80	100,00				

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Paulo César Fonseca Giannini							
Projeto: O aproveitamento de areia na região do alto curso do Rio Iguaçu/PR: aspectos geológicos, econômicos e ambientais							
Data: 23/02/02							
Amostra: 03			Massa dispersante (g)			01 g de fosfato de sódio	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		51 g	Partículas 4,000 - 0,062 (g)			48,7044	
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)			0,0026	
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)			48,7070	
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf			1,0470	
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	6,5646	6,5194	0,0452	0,0087	0,4350
0,031 - 0,016	01:56	03:52	7,4878	7,4513	0,0365	0,0048	0,2400
0,016 - 0,008	07:44	15:28	7,9629	7,9312	0,0317	0,0027	0,1350
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,2052	10,1762	0,0290	0,0021	0,1050
<0,004	123:00	246:00	10,7713	10,7444	0,0269	0,0269	1,3450
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	8,1	8,48	16,63	16,63	grânulo		
2,830 - 2,000	3,7	3,87	7,59	24,22	grânulo		
2,000 - 1,410	5,7	5,97	11,70	35,92	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	3	3,14	6,16	42,08	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	4,6	4,82	9,45	51,53	areia grossa		
0,707 - 0,500	6,9	7,22	14,16	65,69	areia grossa		
0,500 - 0,354	5,5	5,76	11,29	76,98	areia média		
0,354 - 0,250	4,6	4,82	9,45	86,43	areia média		
0,250 - 0,177	3,2	3,35	6,57	93,00	areia fina		
0,177 - 0,125	3,4	3,56	6,98	99,98	areia fina		
0,125 - 0,088	0,0022	0,01	0,02	100,00	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,00223	0,00			areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0026	0,00			silte/argila		
0,062 - 0,031					silte grosso		
0,031 - 0,016					silte médio		
0,016 - 0,008					silte fino		
0,008 - 0,004					silte mt. fino		
<0,004					argila		
Total	48,707	51,00	100,00				

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Paulo César Fonseca Giannini							
Projeto: O aproveitamento de areia na região do alto curso do Rio Iguaçu/PR: aspectos geológicos, econômicos e ambientais							
Data: 23/02/02							
Amostra: 04			Massa dispersante (g)			01 g de fosfato de sódio	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		51 g	Partículas 4,000 - 0,062 (g)			35,0898	
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)			1,9000	
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)			36,9898	
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf			1,3787	
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	7,8882	7,6267	0,2615	0,0991	4,9550
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,265	8,1026	0,1624	0,0677	3,3850
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,1114	8,0167	0,0947	0,0392	1,9600
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0521	7,9966	0,0555	0,0190	0,9500
<0,004	123:00	246:00	11,0015	10,965	0,0365	0,0365	1,8250
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830					grânulo		
2,830 - 2,000					grânulo		
2,000 - 1,410	0,0898	0,12	0,24		areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	0,6	0,83	1,63		areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	2,4	3,31	6,49		areia grossa		
0,707 - 0,500	1,6	2,21	4,33		areia grossa		
0,500 - 0,354	6,6	9,10	17,84		areia média		
0,354 - 0,250	6	8,27	16,22		areia média		
0,250 - 0,177	3,8	5,24	10,27		areia fina		
0,177 - 0,125	4,5	6,20	12,16		areia fina		
0,125 - 0,088	4,1	5,65	11,08		areia mt.fina		
0,088 - 0,062	5,4	7,45	14,60		areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	1,9	2,62	5,14		silte/argila		
0,062 - 0,031					silte grosso		
0,031 - 0,016					silte médio		
0,016 - 0,008					silte fino		
0,008 - 0,004					silte mt. fino		
<0,004					argila		
Total	36,9898	51,00					

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Paulo César Fonseca Giannini							
Projeto: O aproveitamento de areia na região do alto curso do Rio Iguaçu/PR: aspectos econômicos e ambientais							
Data: 23/02/02							
Amostra: 05			Massa dispersante (g)			01 g de fosfato de sódio	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		51 g	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		49,0410		
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)		0,0023		
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)		49,0433		
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0398		
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M. alíquota (g)	M. suspens aliq (g)	M susp. total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,5985	10,5579	0,0406	0,0025	0,1250
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,1197	8,0816	0,0381	0,0025	0,1250
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,0121	7,9765	0,0356	0,0020	0,1000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,2597	10,2261	0,0336	0,0020	0,1000
<0,004	123:00	246:00	7,8502	7,8186	0,0316	0,0316	1,5800
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M. corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830					grânulo		
2,830 - 2,000	0,1264	0,13	0,26	0,26	grânulo		
2,000 - 1,410	0,4068	0,42	0,82	1,08	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	0,7	0,73	1,43	2,51	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	2,1	2,18	4,27	6,78	areia grossa		
0,707 - 0,500	7,9	8,21	16,10	22,88	areia grossa		
0,500 - 0,354	12	12,48	24,47	47,35	areia média		
0,354 - 0,250	14,7	15,30	30,00	77,35	areia média		
0,250 - 0,177	8,5	8,84	17,33	94,68	areia fina		
0,177 - 0,125	2,6	2,70	5,30	99,98	areia fina		
0,125 - 0,088					areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,0078	0,01	0,02	0,02	areia mt.fina		
0,062 - 0,031	0,0023				silte/argila		
0,062 - 0,031					silte grosso		
0,031 - 0,016					silte médio		
0,016 - 0,008					silte fino		
0,008 - 0,004					silte mt. fino		
<0,004					argila		
Total	49,0433	51,00	100,00				

IGcUSP - GSA - LABSED							
Responsável: Paulo César Fonseca Giannini							
Projeto: O aproveitamento de areia na região do alto curso do Rio Iguaçu/PR: aspectos econômicos e ambientais							
Data: 23/02/02							
Amostra: 06			Massa dispersante (g)			01 g de fosfato de sódio	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		51 g	Partículas 4,000 - 0,062 (g)			48,2000	
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)			0,3364	
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)			48,5364	
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf			1,0507	
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo (min:s)		M. total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total (g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,6456	10,5878	0,0578	0,0066	0,3300
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,3586	10,3074	0,0512	0,0059	0,2950
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,0997	10,0544	0,0453	0,0050	0,2500
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0486	8,0083	0,0403	0,0027	0,1350
<0,004	123:00	246:00	9,9954	9,9578	0,0376	0,0376	1,8800
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	5,1	5,36	10,51	10,51	grânulo		
2,830 - 2,000	3,4	3,57	7,00	17,51	grânulo		
2,000 - 1,410	2,7	2,84	5,56	23,07	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	4	4,20	8,23	31,30	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	5,1	5,36	10,51	41,81	areia grossa		
0,707 - 0,500	2,4	2,52	4,94	46,75	areia grossa		
0,500 - 0,354	6,8	7,14	14,00	60,75	areia média		
0,354 - 0,250	7,1	7,46	14,63	75,38	areia média		
0,250 - 0,177	5,2	5,46	10,71	86,09	areia fina		
0,177 - 0,125	3,7	3,89	7,63	93,72	areia fina		
0,125 - 0,088	1,7	1,80	3,53	97,25	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	1	1,05	2,06	99,31	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,3364	0,35	0,69		silte/argila		
0,062 - 0,031	0				silte grosso		
0,031 - 0,016	0				silte médio		
0,016 - 0,008	0				silte fino		
0,008 - 0,004	0				silte mt. fino		
<0,004	0				argila		
Total	48,5364	51,00	100,00				

ANEXO B

Questionário aplicado às empresas de mineração de areia na região do alto curso do rio Iguaçu/PR (modificado de FABIANOVICZ, 1998)

QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS EMPRESAS DE MINERAÇÃO

Data de preenchimento: 19/03/2001.

A. INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA:

1. Nome da empresa: Mineração Bassani Ltda

2. Nome do empresário:

3. Endereço do empreendimento:

4. Cidade: Balsa Nova/PR

5. Nome do entrevistado e cargo que ocupa:

Observação:

6. Tempo de funcionamento da Empresa:

() 0 – 5 anos

() 6 – 10 anos

() 11 – 15 anos

() 15 – 20 anos

(X) 20 – 25 anos

() mais de 25 anos

Observação:

7. Regime

Observação (data, prazo, etc)

(X) Licenciamento

() Autorização de pesquisa

() Concessão de lavra

() Outro

8. Situação no Órgão Ambiental:

Observação (data, prazo, etc)

() Licença Prévia

(X) Licença de Operação

9. Área requerida e área explorada: 50 hectares

10. Número de empregados: 07

11. Qual é o número de empregados por setor:

SETOR	ENG. MINAS	GEÓLOGO	TÉC. NÍVEL SUPERIOR	TÉC. NÍVEL MÉDIO	OPERÁRIO
Administrativo				01	
Lavra e benef.					03
Manutenção					01
Transporte					02

B. INFORMAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO:

12. Qual o valor da produção mensal de areia:

- () até 500 m³ () de 500 a 1000 m³ (X) de 1000 a 2000 m³
() de 2000 a 4000 m³ () de 4000 a 10000 m³ () acima de 10000 m³

13. Qual foi a produção em anos anteriores: a média é sempre mantida, com exceção de épocas de enchente.

14. O objetivo da produção é:

- () Encomenda () Manter estoque (X) ambos

C. MERCADO

15. Qual o preço do produto na boca da mina e nos postos de distribuição:

Valor de R\$ 11,00 na mina e R\$ 13,00 em média nos postos de distribuição.

16. Qual é a referência de fixação do preço:

- () Preço de mercado (X) Análise de custos
() Acordo entre produtores () outros

17. Composição dos custos (%):

Lavra: 30 Administração:20 Pagamento de pessoal:40 Outros:

Margem de lucro:10

18. Qual o volume de areia vendido mensalmente Aproximadamente 1.200 m³

19. Quem são os seus principais consumidores:

- (X) Poder público () Construtoras () Concreteira
(X) Depósitos em lojas de materiais para construção civil
(X) Pequenos consumidores () outros

20. Transporte:

- () Próprio () Transportadora () Outros
(X) Depósitos em lojas de materiais para construção civil

21. A empresa tem problemas relacionados com o transporte do produto? Quais as maiores e menores distâncias percorridas:

A empresa distribui areia para os municípios de Balsa Nova, Lapa, Contenda e Campo Largo.

D. CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

22. Bens minerais explorados e reserva: Areia

23. Área requerida e área explorada: área total de 50 ha e área explorada de 22 ha.

24. Explicitação do método de lavra: Método de lavra em cava seca por desmonte mecânico.

25. Qual o tipo de processo de beneficiamento utilizado:

Peneiramento para seleção da areia e eliminação de finos através de jateamento de água.

QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS EMPRESAS DE MINERAÇÃO

Data de preenchimento: 19/03/2001.

A. INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA:

1. Nome da empresa: Areal Teodoro Durau e Cia Ltda

2. Nome do empresário:

3. Endereço do empreendimento:

4. Cidade: Balsa Nova/PR

5. Nome do entrevistado e cargo que ocupa:

Observação:

6. Tempo de funcionamento da Empresa:

() 0 – 5 anos

(X) 6 – 10 anos

() 11 – 15 anos

() 15 – 20 anos

() 20 – 25 anos

() mais de 25 anos

Observação:

7. Regime

Observação (data, prazo, etc)

(X) Licenciamento

() Autorização de pesquisa

() Concessão de lavra

() Outro

8. Situação no Órgão Ambiental:

Observação (data, prazo, etc)

() Licença Prévia

(X) Licença de Operação

9. Área requerida e área explorada: 50 hectares

10. Número de empregados: 10

11. Qual é o número de empregados por setor:

SETOR	ENG. MINAS	GEÓLOGO	TÉC. NÍVEL SUPERIOR	TÉC. NÍVEL MÉDIO	OPERÁRIO
Administrativo				01	
Lavra e benef.					06
Manutenção					01
Transporte					02

B. INFORMAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO:

12. Qual o valor da produção mensal de areia:

- () até 500 m³ () de 500 a 1000 m³ () de 1000 a 2000 m³
() de 2000 a 4000 m³ (X) de 4000 a 10000 m³ () acima de 10000 m³

13. Qual foi a produção em anos anteriores:

Sempre manteve a média, com exceção de épocas de enchente.

14. O objetivo da produção é:

- () Encomenda () Manter estoque (X) ambos

C. MERCADO

15. Qual o preço do produto na boca da mina e nos postos de distribuição:

Valor de R\$ 8,00 na mina e R\$ 13,00 em média nos postos de distribuição.

16. Qual é a referência de fixação do preço:

- () Preço de mercado (X) Análise de custos
() Acordo entre produtores () outros

17. Composição dos custos (%):

Lavra: 30 Administração:20 Pagamento de pessoal:30 Outros:5

Margem de lucro:15

18. Qual o volume de areia vendido mensalmente: Aproximadamente 5.000 m³

19. Quem são os seus principais consumidores:

- (X) Poder público (X) Construtoras () Concreteira
(X) Depósitos em lojas de materiais para construção civil
(X) Pequenos consumidores () outros

20. Transporte:

- (X) Próprio () Transportadora () Outros
(X) Depósitos em lojas de materiais para construção civil

21. A empresa tem problemas relacionados com o transporte do produto? Quais as maiores e menores distâncias percorridas:

Não há problemas com relação ao transporte do produto e as principais cidades atendidas são Campo Largo, Balsa Nova, Curitiba e Lapa.

D. CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

22. Bens minerais explorados e reserva: areia

23. Área requerida e área explorada: área total: 50 ha e área explorada de 18 ha.

24. Explicação do método de lavra:

Método de lavra em cava seca por desmonte mecânico.

25. Qual o tipo de processo de beneficiamento utilizado:

Peneiramento para seleção da areia e eliminação de finos através de jateamento de água.

QUESTIONÁRIO APLICADO ÀS EMPRESAS DE MINERAÇÃO

Data de preenchimento: 19/03/2001.

A. INFORMAÇÕES SOBRE A EMPRESA:

1. Nome da empresa: Areal Itabaúna
2. Nome do empresário:
3. Endereço do empreendimento:
4. Cidade: Balsa Nova/PR
5. Nome do entrevistado e cargo que ocupa:
Observação:

6. Tempo de funcionamento da Empresa:

- () 0 – 5 anos (X) 6 – 10 anos () 11 – 15 anos
() 15 – 20 anos () 20 – 25 anos () mais de 25 anos

Observação:

7. Regime

Observação (data, prazo, etc)

- (X) Licenciamento
() Autorização de pesquisa
() Concessão de lavra
() Outro

8. Situação no Órgão Ambiental:

Observação (data, prazo, etc)

- () Licença Prévia
(X) Licença de Operação

9. Área requerida e área explorada: 50 hectares

10. Número de empregados: 14

11. Qual é o número de empregados por setor:

SETOR	ENG. MINAS	GEÓLOGO	TÉC. NÍVEL SUPERIOR	TÉC. NÍVEL MÉDIO	OPERÁRIO
Administrativo				01	
Lavra e benef.					06
Manutenção					02
Transporte					05

E. INFORMAÇÕES SOBRE A PRODUÇÃO:

12. Qual o valor da produção mensal de areia:

- () até 500 m³ () de 500 a 1000 m³ () de 1000 a 2000 m³
() de 2000 a 4000 m³ (X) de 4000 a 10000 m³ () acima de 10000 m³

13. Qual foi a produção em anos anteriores:

Sempre manteve a média, com exceção de épocas de enchente.

14. O objetivo da produção é:

- () Encomenda () Manter estoque (X) ambos

F. MERCADO

15. Qual o preço do produto na boca da mina e nos postos de distribuição:

Valor de R\$ 8,00 na mina e R\$ 12 a 14 reais em média nos postos de distribuição.

16. Qual é a referência de fixação do preço:

- () Preço de mercado (X) Análise de custos
() Acordo entre produtores () outros

17. Composição dos custos (%):

Lavra: 28 Administração: 25 Pagamento de pessoal: 25 Outros:

Margem de lucro: 22

18. Qual o volume de areia vendido mensalmente: aproximadamente 5.600 m³

19. Quem são os seus principais consumidores:

- (X) Poder público (X) Construtoras (X) Concreteira
(X) Depósitos em lojas de materiais para construção civil
(X) Pequenos consumidores () outros

20. Transporte:

- (X) Próprio () Transportadora () Outros
(X) Depósitos em lojas de materiais para construção civil

21. A empresa tem problemas relacionados com o transporte do produto? Quais as maiores e menores distâncias percorridas:

Não há problemas com relação ao transporte do produto e as principais cidades atendidas são Campo Largo, Balsa Nova, Curitiba e Lapa. Eventualmente, aparecem consumidores de Contenda, Porto Amazonas e Almirante Tamandaré.

G. CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

22. Bens minerais explorados e reserva: areia

23. Área requerida e área explorada:

Área total de 50 hectares e área explorada de aproximadamente 36 ha.

24. Explicitação do método de lavra:

Método de lavra em cava seca por desmonte mecânico.

25. Qual o tipo de processo de beneficiamento utilizado:

Peneiramento para seleção da areia e eliminação de finos através de jateamento de água.